



Etude statistique des pannes de tiroirs du calorimètre hadronique à tuiles scintillantes de l'expérience ATLAS

S. Skwarek

► To cite this version:

S. Skwarek. Etude statistique des pannes de tiroirs du calorimètre hadronique à tuiles scintillantes de l'expérience ATLAS. 2006, pp.1-60. in2p3-00121707

HAL Id: in2p3-00121707

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00121707>

Submitted on 21 Dec 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RAPPORT DE STAGE DE FIN DE SECONDE ANNEE DE
MESURES PHYSIQUES A L'INSTITUT UNIVERSITAIRE
DE TECHNOLOGIE DE CLERMONT-FERRAND

**ETUDE STATISTIQUE
DES PANNES DES TIROIRS
DU CALORIMETRE HADRONIQUE A TUILES
SCINTILLANTES DE L'EXPERIENCE ATLAS**



SKWAREK Steven
2^{ème} année de Mesures Physiques
Option Techniques Instrumentales

Laboratoire de Physique Corpusculaire
24, avenue des Landais
63 177 AUBIERE

SOMMAIRE

1 REMERCIEMENTS

2 INTRODUCTION

page 1

3 PRESENTATION DU LPC

page 2

3.1 RECHERCHES FONDAMENTALES

page 2

3.1.1-Physique des particules

page 2

3.1.2-Physique hadronique et matière nucléaire

page 2

3.1.3-Théorie

page 2

3.2 RECHERCHES PLURIDISCIPLINAIRES

page 3

4 LE MODELE STANDARD

page 3

4.1 LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE MATIERE, LES FERMIONS

page 3

4.2 LES PARTICULES ELEMENTAIRE DE CHAMP OU DE RAYONNEMENT, LES BOSONS

page 4

4.3 UNE PARTICULE SUPPLEMENTAIRE, LE BOSONS DE HIGGS

page 4

4.4 LA SUPERSYMETRIE

page 4

5 LE CERN

page 5

6 LES ACCELERATEURS DE PARTICULES

page 5

6.1 LE LEP

page 5

6.2 LE LHC

page 6

6.3 AUTRES

page 7

7 L'EXPERIENCE ATLAS

page 8

8 LE CALORIMETRE HADRONIQUE

page 9

9 QU'EST-CE QU'UN SUPER-TIROIR ?

page 10

10 A QUOI SERVENT TOUS CES COMPOSANTS ?

page 12

10.1 LE BLOC PMT

page 12

10.1.1 Le guide de lumière

page 12

10.1.2 Le Photomultiplicateur

page 12

10.1.3 Le pont diviseur

page 13

10.1.4 La carte 3 en 1

page 13

10.1.5 Le bloc PMT

page 14

10.1.6 Résumé du principe de fonctionnement du bloc PMT	page 14
10.2 LE COTE HAUTE TENSION	page 14
10.2.1 La carte Opto	page 15
10.2.2 La carte Micro	page 15
10.2.3 Les cartes Bus	page 15
10.2.4 Résumé du principe de fonctionnement du système Haute Tension	page 16
10.3 LE COTE LECTURE	page 16
10.3.1 La carte Adder	page 16
10.3.2 La carte Digitiseur	page 17
10.3.3 La carte Mezzanine	page 18
10.3.4 La carte Interface	page 18
10.3.5 La carte ADC Intégrateur	page 18
10.3.6 La carte Mother Board	page 19
10.3.7 Résumé du principe de fonctionnement du système de lecture	page 19
10.4 LE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT	page 20
10.5 LE PATCH PANEL	page 20
 11 ETUDE STATISTIQUE DES PANNES	 page 21
11.1 ETAPES DE MONTAGE ET CERTIFICATION DES TIROIRS	page 21
11.2 HISTORIQUE DU FONCTIONNEMENT DES TIROIRS	page 22
11.3 REGLES SUIVIES	page 22
11.4 IDENTIFICATION DES PANNES	page 22
11.5 BILAN GLOBAL DES PANNES	page 23
11.5.1 PAR SUPER-TIROIR	page 23
11.5.2 PAR TYPE DE COMPOSANT	page 24
11.6 BILANS INDIVIDUELS DES PANNES	page 25
11.6.1 Les cartes 3 en 1	page 25
11.6.2 Les cartes HV Opto	page 26
11.6.3 Les cartes Adder	page 27
11.6.4 Les Digitiseurs	page 28
11.6.5 Les cartes Mother Board	page 29
11.6.6 L'Interface	page 29
11.6.7 La carte HV Micro	page 30
11.6.8 Les cartes HV Bus	page 30
11.6.9 La carte Mezzanine	page 30
11.6.10 L'ADC Intégrateur	page 30
11.6.11 Les câbles delay	page 30
11.6.12 Les câbles trigger	page 30
11.6.13 Les Flex foils	page 30
11.6.14 Les sondes de température	page 30
11.6.15 Les dominos	page 31
 12 CONCLUSION	 page 32

1 REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier toute l'équipe d'ATLAS qui m'a très bien accueilli, et plus particulièrement tous ceux avec qui j'ai travaillé plus étroitement.

Tout d'abord, David CALVET, qui m'a fait découvrir MobiDICK, et qui a répondu avec patience à toutes mes questions.

Puis Fabrice PODLYSKI, avec qui je suis allé au CERN, qui m'a montré les difficultés de montage des tiroirs, et qui m'a éclairé sur les origines diverses des pannes de composants.

Mais aussi Christophe GUICHENEY, qui m'a initié à ses bases de données et qui va automatiser mon travail afin de pouvoir le conserver et l'actualiser plus facilement.

Et enfin, un grand merci à François VAZEILLE, mon maître de stage, qui s'est très bien occupé de moi, qui a pris du temps pour m'expliquer ATLAS et le Tilecal, notamment tous les composants d'un super-tiroir ainsi que leur fonctionnement. Il m'a également accompagné au CERN, et m'a aidé dans la réalisation de mon étude.

2 INTRODUCTION

Lors de ma seconde année à l'Institut Universitaire de Technologie dans le Département de Mesures Physiques, j'ai réalisé mon stage de fin d'année au Laboratoire de Physique Corpusculaire, le LPC, et plus particulièrement au sein de l'équipe ATLAS.

L'équipe ATLAS regroupe des physiciens (Enseignants de l'Université et chercheurs CNRS), ingénieurs, et techniciens, qui travaillent sur la réalisation d'un élément du détecteur ATLAS, le Calorimètre Hadronique à Tuiles Scintillantes, qui est en cours de montage au CERN, sur le Grand Collisionneur de Hadrons, le LHC ("Large Hadron Collider"). Le LHC offrira des collisions entre deux faisceaux très intenses de protons de très haute énergie.

Une pièce importante de ce calorimètre est l'électronique embarquée logée dans des " tiroirs " et même super-tiroirs (Association de 2 tiroirs). Il y a 256 super-tiroirs dans le détecteur : ils vont permettre d'analyser les informations délivrées par les particules, issues des collisions proton-proton, qui pénètrent dans le calorimètre.

Les super-tiroirs, qui sont constitués de nombreux composants provenant du monde entier, renferment une électronique de pointe (" High Tec "), et donc plutôt fragile, dont certains éléments peuvent faillir partiellement ou totalement.

Mon stage a consisté à réaliser une étude statistique des pannes survenues dans les super-tiroirs, afin de répondre à différentes questions, comme :

Quels sont les composants les plus fragiles ?

Après réparation, une panne se reproduit-elle au même endroit ?

Y-a-t-il des zones où les supers-tiroirs sont plus fragiles ?

Avant de présenter cette étude, je donne quelques notions sur le Modèle Standard qui décrit assez bien le monde des particules élémentaires, et les progrès envisagés.

Puis je présente le CERN, où se situe le LHC, comment sont constitués le détecteur Atlas et son Calorimètre à Tuiles, et enfin quelle est la structure d'un super-tiroir.

3 LE LPC

Le Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont Ferrand est une unité mixte CNRS (IN2P3)-Université Blaise Pascal (Clermont II). Il est dirigé par Alain Baldit, professeur, assisté de Pierre Henrard (Professeur) et Gérard Montarou (Directeur de Recherche). (Voir annexe 1).

La structure du laboratoire se décline selon deux axes principaux (recherches fondamentales et recherches pluridisciplinaires) et cinq services (administration, électronique, informatique, mécanique et microélectronique).

Le laboratoire est fortement implanté dans le contexte universitaire et économique local. Il est classé comme pôle d'excellence pour le contrat de plan (Le deuxième pôle d'excellence à Clermont est la volcanologie).

Ses priorités scientifiques concernent les expériences LHC et la Grille de calcul, ainsi que l'interdisciplinarité et la valorisation.

3.1 RECHERCHES FONDAMENTALES

3.1.1 Physique des particules

Cette composante s'intéresse à la connaissance de la structure interne ultime de la matière, celle des particules élémentaires et des lois qui régissent leurs interactions.

De nombreuses expériences du LPC se sont déroulées, ou sont en cours, au CERN. Elles ont concerné, par exemple, les tests de précision du Modèle Standard avec le détecteur ALEPH qui était implanté sur le LEP (Précédent collisionneur électron-positron).

Elles sont centrées maintenant sur les activités LHC avec **ATLAS** et **LHCb**, dédiées à la recherche de l'origine de la masse, à l'étude des symétries et à des recherches allant au-delà du Modèle Standard impliquant la découverte de nouvelles particules.

Dans cette thématique, le LPC participe également à l'expérience **D0** à Fermilab (Collisionneur proton-antiproton situé aux Etats Unis) et s'investit dans des études prospectives (Equipe ILC) concernant les futurs collisionneurs linéaires d'électrons.

3.1.2 Physique hadronique et matière nucléaire

Dans ce cadre, la structure interne des nucléons est abordée grâce à la **sonde électromagnétique** et en particulier la diffusion Compton virtuelle avec des expériences à Jefferson Lab (Etats Unis) et Mayence (Allemagne).

Les **ions lourds** à basse énergie permettent d'étudier la matière nucléaire avec l'expérience **FOPI** au GSI (Allemagne), et aux énergies ultra relativistes les expériences **NA50/NA60** au SPS du CERN, **Phénix** à BNL (Etats Unis) et **ALICE**, en préparation au LHC, permettant d'étudier la transition de phase et le déconfinement des quarks et des gluons.

3.1.3 Théorie

L'équipe **Théorie** a été créée en 1995. L'activité scientifique s'exerce dans trois directions principales : la physique des interactions fortes, le Modèle Standard et au-delà, ainsi que la pluridisciplinarité. Les activités du groupe de physique théorique sont liées à certaines activités expérimentales du LPC.

3.2 RECHERCHES PLURIDISCIPLINAIRES

Elles concernent :

- La datation par thermoluminescence de systèmes archéologiques et géologiques (volcaniques) et la mesure de faibles radioactivités : équipe **Thermoluminescence**.
- Le domaine biomédical : Equipe **Biomatériaux**
 - Etude et évolution de biomatériaux.
 - Irradiation par flux de neutrons.
- Le développement de la Grille de calcul à usage médical: équipe **PCSV**.
- Application et Valorisation de l'Interaction Rayonnement-Matière: équipe **AVIRM**.
 - L'imagerie médicale.
 - Les études concernant les effets des neutrons.
 - La mise en œuvre du projet de plate-forme rayonnement.

4 LE MODELE STANDARD

Le Modèle Standard de la physique des particules (en abrégé "Modèle Standard") est la "théorie" actuelle qui permet d'expliquer tous les phénomènes observables à l'échelle des particules. Le Modèle Standard englobe donc toutes les particules connues ainsi que les trois interactions ayant un effet à l'échelle des particules : l'[interaction électromagnétique](#), l'[interaction forte](#) et l'[interaction faible](#). Le Modèle Standard permet donc d'expliquer tous les phénomènes naturels sauf la [gravitation](#) qui, pour l'instant, résiste aux théoriciens dans le cadre de la mécanique quantique... Le Modèle Standard a d'autres lacunes : par exemple, un trop grand nombre de paramètres non déterminés qu'il faut introduire de façon artificielle ou expérimentale.

Les particules élémentaires du Modèle Standard sont au nombre de 24 : 12 bosons et 12 fermions. (Voir annexe 2).

4.1 LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE MATIERE, LES FERMIONS

Les [particules élémentaires](#) de matière sont des [fermions](#). Les fermions obéissent à la [statistique de Fermi-Dirac](#); ils sont donc de [spin](#) demi-entier $(2k+1) / 2$ et sont soumis au [principe d'exclusion de Pauli](#) : deux fermions ne peuvent pas occuper le même état quantique. Ces particules se répartissent en deux classes, les leptons et les quarks.

Il y a six quarks qui sont regroupés par paires, selon leur propriété de masse et de charge : up/down, charmé/étrange et top/bottom.

Il y a également six leptons, trois avec une charge électrique et une masse : l'électron, le muon, le tau, et trois sans charge électrique et de très faible masse : les neutrinos, associés aux 3 particules précédentes (neutrino-électron, neutrino-muon, neutrino-tau). Ils sont également regroupés en trois paires, constituées d'une particule chargée et d'un neutrino: électron/neutrino-électron, muon/neutrino-muon et tau/neutrino-tau.

Les leptons électron/neutrino-électron et les quarks up/down ont les masses les plus faibles et suffisent à la construction de la matière stable de l'Univers actuel. Elles forment ce qui est appelé la première génération de matière.

Cependant, elles ne sont pas suffisantes pour construire l'Univers tel qu'il était peu de temps après le Big Bang ou pour expliquer des processus à haute énergie qui produisent une grande variété de particules à très courte durée de vie. L'existence de paires "plus lourdes", ou de "générations" plus lourdes de matière, sont requises.

4.2 LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE CHAMP OU DE RAYONNEMENT, LES BOSONS

Les particules élémentaires de champ sont des bosons: ils sont au nombre de 12 et ont des spins entiers. Ces particules sont les messagers des différentes interactions :

- L'interaction faible, qui est responsable de certaines désintégrations radioactives et explique par exemple pourquoi le soleil brille. Elle est portée par trois particules, W^+ , W^- et Z^0 qui ont été découvertes au CERN (prix Nobel) sur l'ancien collisionneur proton anti-proton au début des années 1980, puis caractérisées avec une très grande précision au LEP entre 1989 et 2000.

- L'interaction forte, qui est une force attractive faisant interagir entre eux les quarks constitutifs des protons et des neutrons. Elle est responsable de la cohésion des noyaux atomiques. Ses messagers sont les gluons, qui sont au nombre de 8.

- L'interaction électromagnétique, qui agit entre tous les objets qui possèdent une charge électrique. C'est elle, par exemple, qui lie les électrons et le noyau de l'atome. La particule messagère de l'interaction électromagnétique est le photon, cette particule familière constitutive du rayonnement électromagnétique quelle que soit sa longueur d'onde : ondes radio, micro-ondes, lumière visible, ultraviolets, rayons X, γ ...

Notons que le graviton, autre boson qui serait le messenger de la force de gravitation, échappe au Modèle Standard et n'a pas encore été découvert.

4.3 UNE PARTICULE SUPPLEMENTAIRE, LE BOSON DE HIGGS

Le boson de Higgs est une particule prédite par le Modèle Standard de la physique des particules élémentaires. Elle constitue en quelque sorte le chaînon manquant non encore découvert de ce modèle. En effet, cette particule est supposée expliquer l'origine de la masse de toutes les particules de l'Univers, y compris la sienne, comprise entre 0 et 1 000 GeV. Cependant, elle reste encore à découvrir puisque aucune expérience ne l'a pour l'instant observée de façon indiscutable, le LEP l'ayant peut-être mis en évidence avant de s'arrêter.

4.4 LA SUPERSYMETRIE

La SuperSYmétrie (SUSY) est une extension du Modèle Standard de la physique des particules qui postule une relation profonde entre les particules de spin 1/2 (les fermions) et les particules de spin entier (les bosons) véhiculant les interactions, en introduisant une nouvelle symétrie. Dans le cadre de la SUSY, chaque fermion est associé à un « super-partenaire » de spin 0 alors que chaque boson est associé à un « super-partenaire » de spin 1/2. Le secteur de Higgs est également étendu à au moins 5 bosons de Higgs dans le cadre de l'extension minimale au Modèle Standard (MSSM). A l'heure actuelle, aucun « super-partenaire » n'a encore été observé. La SUSY doit être une symétrie brisée : ceci implique que les « super-partenaires » doivent avoir des masses différentes de celles de leurs partenaires. (Voir annexe 3).

Il existe d'autres théories encore plus générales (Les Super-Cordes) qui unifieraient tous les types d'interactions, y compris la gravitation.

5 LE CERN

Le CERN (Laboratoire Européen pour la Physique des Particules) est le plus grand laboratoire mondial dédié à la Physique des Particules aux plus hautes énergies. Il est financé par 20 états membres européens (Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République slovaque, République tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse), mais il y a des membres observateurs (Etats-Unis, Israël, Japon, Russie, Turquie, UNESCO, Commission des Communautés européennes). De plus, des contributions financières spéciales sont fournies par des membres observateurs ou d'autres états, pour la réalisation du futur accélérateur qu'est le LHC qui devient, en quelque sorte, un accélérateur mondial.

6 LES ACCELERATEURS DE PARTICULES

6.1 LE LEP

Le **Grand Collisionneur électron-positron LEP** (Large Electron Positron) était un [accélérateur de particules](#) de 27 km de circonférence, enfoui entre la [France](#) et la [Suisse](#) à 100 mètres sous terre, dans lequel étaient accélérés des paquets d'[électrons](#) (de [charge](#) négative) dans un sens et des paquets de [positrons](#) (de charge positive) dans le sens opposé.

Les positrons et électrons tournaient à une vitesse proche de [celle de la lumière](#) dans l'anneau avant d'entrer en collision au niveau des quatre détecteurs du LEP: ALEPH, OPAL, L3 et DELPHI. Les collisions entre les paquets de positrons et d'électrons se produisaient à 100 GeV, au démarrage du LEP, et ont été portées jusqu'à 200 GeV dans sa dernière phase d'utilisation.

Le LEP a permis de déterminer très précisément la masse des [bosons intermédiaires](#) W^+ , W^- et Z^0 (bosons vecteurs de l'interaction électrofaible) et fut ainsi un outil très intéressant pour vérifier la théorie d'unification de l'[interaction faible](#) et de l'[interaction électromagnétique](#) : l'[interaction électrofaible](#). Il a permis de fixer le nombre de types de neutrinos à 3, donc le nombre de familles de leptons à 3 également. Il a enfin permis de vérifier avec une grande exactitude les prévisions du Modèle Standard. Cette absence de faille du Modèle pose un grand problème, car il est insuffisant par essence même puisqu'un trop grand nombre de paramètres doivent y être introduits de manière artificielle. Il ne permet pas, en particulier, de prévoir les masses des particules.

En [2000](#), le LEP aurait également observé le [boson de Higgs](#) (particule prédite par le [Modèle Standard](#) pour expliquer le fait que l'interaction électrofaible se soit scindée en interaction électromagnétique et interaction faible), mais les incertitudes ne permettent pas de valider ces conclusions.

Aujourd'hui, le LEP n'est plus en service. Il sera remplacé en 2007 par le LHC, dont les performances permettront peut-être de confirmer l'existence du boson de Higgs et de

particules encore plus massives, et d'aller au-delà du Modèle Standard. Contrairement à son prédécesseur, le LHC est un collisionneur de protons, ce qui lui permettra d'atteindre des échelles d'énergie largement supérieures à celles du LEP.

6.2 LE LHC

Le **Grand Collisionneur de Hadrons LHC** (Large Hadron Collider) est le prochain grand [accélérateur de particules](#) qui sera mis en opération en 2007 au [CERN](#). Une fois achevé, il sera le plus grand et le plus puissant accélérateur du monde. Il est situé dans le tunnel de 27 km de circonférence de son prédécesseur, le collisionneur LEP (voir figure 1).

À la différence de ce dernier, des [protons](#) (une variété de hadrons qui constitue le noyau de l'atome le plus simple : l'atome d'hydrogène) seront accélérés pour produire des collisions, au lieu des [électrons](#) ou des [positrons](#). Ces protons seront accélérés jusqu'à une énergie de 7 TeV par faisceau (pour une énergie de collision de 14 TeV).

Le LHC étant construit dans un tunnel préexistant, l'énergie maximale des faisceaux est déterminée par l'intensité du champ magnétique que l'on peut fournir pour maintenir ces faisceaux sur leur trajectoire circulaire. Les aimants supraconducteurs du LHC, qui sont au nombre de 1200, produisent un champ magnétique exceptionnellement élevé, ce qui en fait les éléments les plus complexes de la machine. La supraconductivité de haute performance nécessite de refroidir la totalité des 27 kilomètres de l'anneau à des températures de 1,8 K (-271,2°C), ce qui fait du LHC la plus grande installation supraconductrice et cryogénique du monde.

Les détecteurs installés auprès du LHC seront au nombre de cinq : **ALICE**, **ATLAS**, **CMS**, **LHCb**, **TOTEM**. Les deux grands détecteurs ATLAS et CMS sont multi-usages, tout particulièrement optimisés pour l'étude des interactions proton-proton et la recherche de nouvelle physique, en particulier la recherche du boson de Higgs. Le détecteur ALICE est optimisé pour l'étude des interactions entre ions lourds, alors que LHCb est, quant à lui, conçu pour l'étude des désintégrations de quarks *b* afin de tester la dissymétrie matière-antimatière. Enfin, l'expérience TOTEM a pour but la mesure de la section efficace totale de collision proton-proton à l'énergie du LHC.

Quels seront les thèmes de physique étudiés auprès du LHC ? Après le superbe effort mené auprès du LEP pour éprouver en détail le Modèle Standard et tenter de découvrir le boson de Higgs ou la supersymétrie, les physiciens auront pour but premier, avec le LHC, de pousser le Modèle Standard dans ses derniers retranchements. Une des priorités sera la recherche du boson de Higgs, afin de répondre à beaucoup de questions comme :

- Qu'est-ce que la masse ?
- Quelle est l'origine de la masse ? (Le boson de Higgs existe-t-il vraiment ?)
- Pourquoi les différentes particules élémentaires ont-elles des masses différentes ? (est-ce que les particules interagissent avec le Higgs ?)
- Est-ce que les neutrinos possèdent une masse ?

Et aussi :

- Est-ce que la supersymétrie existe ? Et si oui, quel est le modèle supersymétrique qui décrit le mieux la Nature ?
- Est-il possible d'unifier la gravitation avec les 3 autres forces de la Nature ?
- Quelles surprises nous réservera la Nature ?

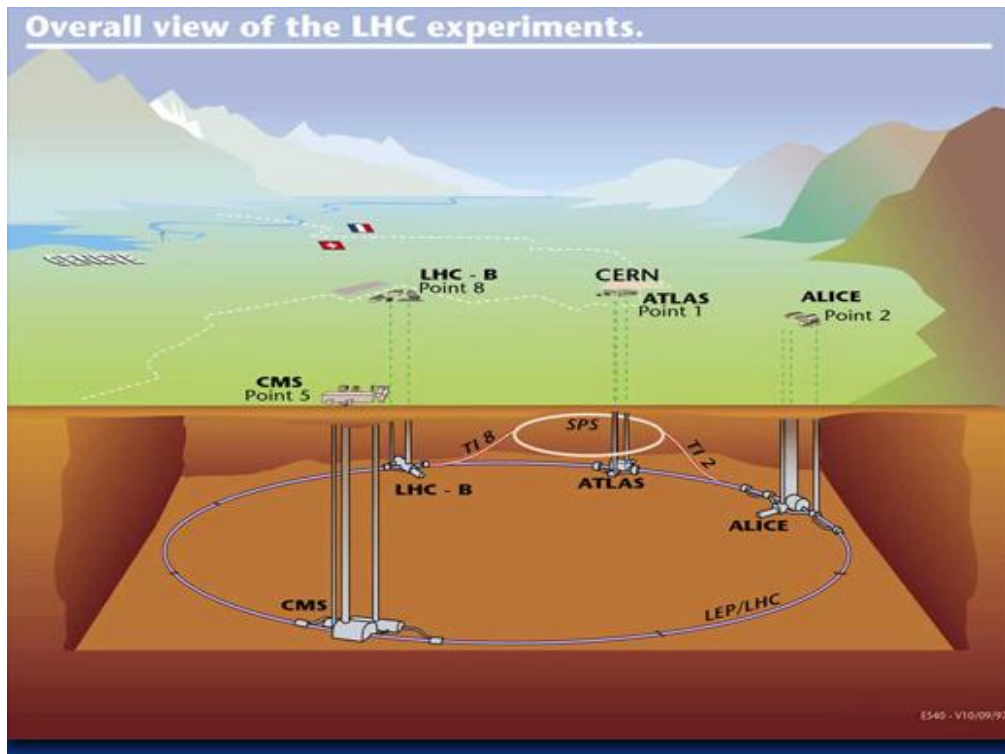


Figure 1 : Vue du LHC, en surface et sous terre

6.3 LES AUTRES

Il existe beaucoup d'autres accélérateurs de particules en France et dans le monde. En France il y a l'European Synchrotron Radiation Facility (ou Installation Européenne de Rayonnement Synchrotron, ou ESRF), située à Grenoble, qui est l'un des trois plus importants synchrotrons de ce type actuellement en fonctionnement avec APS à Argonne aux Etats-Unis et Spring-8 au Japon. De plus, à Caen est situé le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds ou Ganil. Il fonctionne depuis 1983 autour d'un accélérateur d'ions constitué de deux cyclotrons placés en série.

Le Tevatron est un accélérateur circulaire de particules au laboratoire national d'accélérateur de Fermi à Batavia, dans l'Illinois, aux Etats-Unis. C'est actuellement le collisionneur de particules d'énergie la plus élevée dans le monde. Le Tevatron accélère des protons et des antiprotons, dans un anneau de 6.3 kilomètres de circonférence, à des énergies pouvant atteindre 1 TeV.

L'accélérateur Héra, situé à Hambourg (Allemagne) permet des collisions entre électrons (30 GeV) et protons (92 GeV), et son intérêt principal est que les électrons, quasi ponctuels, sont des sondes d'autant plus efficaces de la matière hadronique (les protons) que leur énergie est plus élevée.

D'autres accélérateurs (PEP aux Etats-Unis et KEK au Japon) offrent des collisions électron-positron, à des énergies pas très élevées, mais particulièrement bien adaptées aux tests de symétrie entre matière et antimatière via la désintégration des quarks b. Citons enfin le collisionneur d'ions lourds RHIC, aux Etats-Unis, qui étudie principalement le déconfinement des quarks et des gluons dans la matière nucléaire.

Il faut noter que, mis à part les machines à rayonnement synchrotron qui ont des finalités différentes, tous les autres accélérateurs de haute énergie seront complètement supplantés dans leurs objectifs physiques par le LHC lorsque celui-ci sera opérationnel.

7 L'EXPERIENCE ATLAS

ATLAS est l'un des deux grands détecteurs généralistes qui est en construction auprès du LHC. Le mot "ATLAS" ne désigne pas seulement un détecteur mais également une collaboration à caractère mondial d'environ 1800 scientifiques (Physiciens, Ingénieurs), puisqu'elle est composée de 151 laboratoires issus de 34 pays différents. ATLAS est un acronyme pour "A Toroidal LHC ApparatuS" (voir figure 2).

De symétrie cylindrique autour de l'axe des faisceaux, ATLAS mesure 44 mètres de long et 22 mètres de diamètre, pèse environ 7000 tonnes et est situé à une centaine de mètres dans une caverne souterraine. C'est le plus grand et le plus complexe détecteur jamais construit. Sa réalisation implique de développer de la haute technologie dans les domaines les plus variés : mécanique, électronique, informatique...

Il est constitué d'un assemblage de détecteurs qui ont chacun un rôle spécifique et qui sont empilés selon une structure en oignon, caractéristique des expériences installées sur un anneau de collision (voir annexe 4).

En allant du point de collision vers l'extérieur, ses éléments sont détaillés ci-après.

- Le détecteur interne de traces chargées, ou trajectographe, est formé de plus de 100 millions de capteurs au silicium et de tubes fins remplis de gaz. Il permet de reconstruire le chemin des particules chargées tout près du lieu de leur production. Ce détecteur est plongé dans un champ magnétique de 2 teslas, produit par un solénoïde supraconducteur, permettant la mesure de la charge et de l'impulsion des particules. En effet, on peut distinguer une particule chargée négativement d'une particule chargée positivement, car elles seront déviées dans un sens ou dans l'autre selon le signe de leur charge électrique. De plus, la courbure de la trajectoire est d'autant moins importante que la particule est rapide, ce qui permet de mesurer son impulsion (quantité de mouvement).

- Le détecteur de photons et d'électrons, appelé « calorimètre électromagnétique » est constitué de couches alternées de plomb et d'argon liquide, dans lesquelles les électrons et les photons vont déposer toute leur énergie. Le rôle de ce détecteur est d'identifier ces particules et de mesurer leur énergie et leur direction. Il comporte une partie centrale et deux « bouchons », contenus chacun dans un cryostat.

- Le calorimètre hadronique a pour rôle de mesurer l'énergie et la direction de hadrons isolés (Pions, protons, ...) et surtout de « jets » de quarks ou de gluons. Les quarks ou gluons issus de la collision se « fragmentent » en un grand nombre de particules (principalement des hadrons) qui partent selon un cône dont le sommet est le point de collision, d'où cette appellation de jet. Ce détecteur permet aussi de mesurer des muons isolés (c'est-à-dire non situés à l'intérieur d'un jet). Ce type de détecteur est constitué d'une alternance de couches de matériau dense (fer) et de scintillateurs, pour mesurer leur énergie. Le groupe ATLAS du LPC est principalement impliqué dans la construction du calorimètre hadronique à tuiles scintillantes, il sera détaillé plus loin.

- Le spectromètre à muons identifie et mesure les caractéristiques de ces particules. Les muons (et les neutrinos non mesurables) sont les seules particules à sortir des calorimètres et à atteindre cette partie du détecteur. Ce spectromètre est constitué de 1200 chambres à dérive dont l'alignement devra être contrôlé avec une précision de 30 μm , sur des distances de

quelques dizaines de mètres. Ces chambres sont plongées dans un champ magnétique toroïdal créé par huit bobines supraconductrices de 25 mètres de long.

Nous venons de décrire la partie centrale sous forme de tonneau d'ATLAS. On retrouve presque les mêmes éléments dans les deux parties « bouchons » situées de part et d'autre du tonneau.

Ces différents détecteurs envoient des signaux électriques qui sont retransmis par des circuits électroniques jusqu'à des ordinateurs puissants, capables de faire la synthèse de ces multiples informations. Tout ce dispositif doit fonctionner très vite et très bien car les faisceaux de protons se croisent toute les 25 nanosecondes : c'est à cette fréquence de 40 MHz que fonctionne toute l'électronique d'ATLAS. Comme chaque sous-partie d'ATLAS mesure une multitude de paramètres avec une grande précision, il faut un grand nombre de voies de lecture pour chacune d'entre elles. Un système de déclenchement permettra de sélectionner, parmi les 40 millions de collisions proton-proton par seconde, la centaine d'événements par seconde intéressants attendus après réjection en ligne des événements sans intérêt. Enfin, ces composants doivent résister aux radiations présentes dans la caverne ATLAS pendant le fonctionnement du LHC.

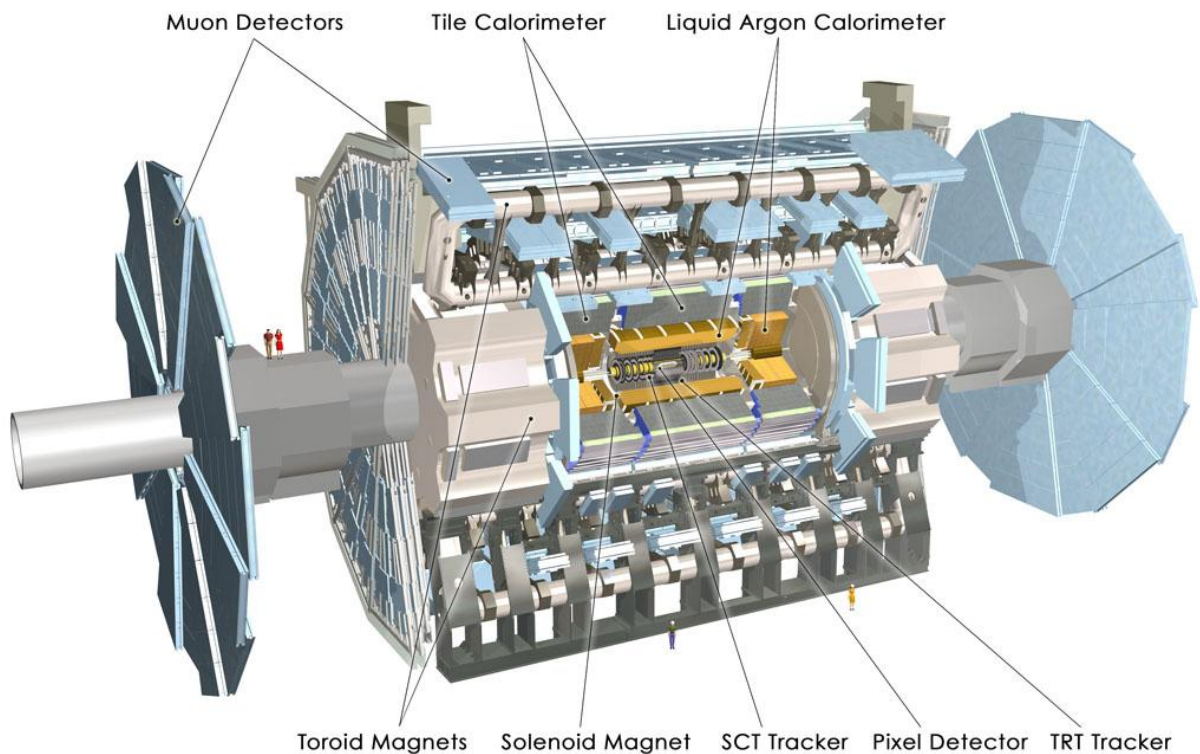


Figure 2 : Le détecteur ATLAS

8 LE CALORIMETRE HADRONIQUE

Le calorimètre hadronique a pour but de mesurer l'énergie des hadrons et des muons. Il est constitué de trois tonneaux, un central long de 6 mètres et deux étendus (ou dits « tonneaux bouchon ») longs de 3 mètres. Au total il fait environ 13 mètres et pèse environ 2900 tonnes. Le diamètre des tonneaux est de 4.56 mètres à l'intérieur et de 8.64 mètres à l'extérieur (voir annexe 5).

Chaque tonneau est constitué de 64 modules. Les modules pour les tonneaux bouchons sont 2 fois plus petits et moins lourds que les modules pour le tonneau central (11 tonnes et 3 mètres pour les bouchons, 22 tonnes et 6 mètres pour le central).

Un module est constitué à 97.5% de fer. Les 2.5% restant sont des tuiles scintillantes qui, lorsqu'une particule ionisante les traverse, émet de la lumière. Cette lumière est absorbée par des fibres à décalage de longueur d'onde WLS (Wave Length Shifting) placées sur deux côtés des tuiles, puis réémise à une longueur d'onde plus grande. Ces fibres sont regroupées en torons afin de constituer des cellules (ensemble de tuiles) selon deux directions : l'axe des faisceaux et en profondeur radialement.

Afin de pouvoir exploiter ce signal optique, il faut le convertir en un signal électrique. Pour cela, à chaque toron de fibres est associé un photomultiplicateur (PMT, dit « PM »). Ces PMT sont regroupés dans des blocs PMT qui sont situés à l'intérieur de "boîtiers" appelés super-tiroirs qui renferment toute l'électronique dite frontale, c'est-à-dire logée directement sur le détecteur. Il y a un super-tiroir par module pour les tonneaux bouchon, et deux super-tiroirs par module pour le tonneau central.

9 QU'EST-CE QU'UN SUPER-TIROIR ?

Un super-tiroir est constitué de deux tiroirs, un tiroir interne et un tiroir externe. Ce sont eux qui vont permettre d'analyser les données, en réalisant la conversion du signal optique en un signal électronique qui va être traité et numérisé. Un tiroir mesure environ 1.50 mètre, donc un super-tiroir a donc une longueur totale proche de 3 mètres. Les tiroirs possèdent un grand nombre d'éléments, avec une électronique de pointe. Un tiroir interne et un tiroir externe ne diffèrent pas seulement par leur position dans le module mais également par leurs composants (voir annexe 6).

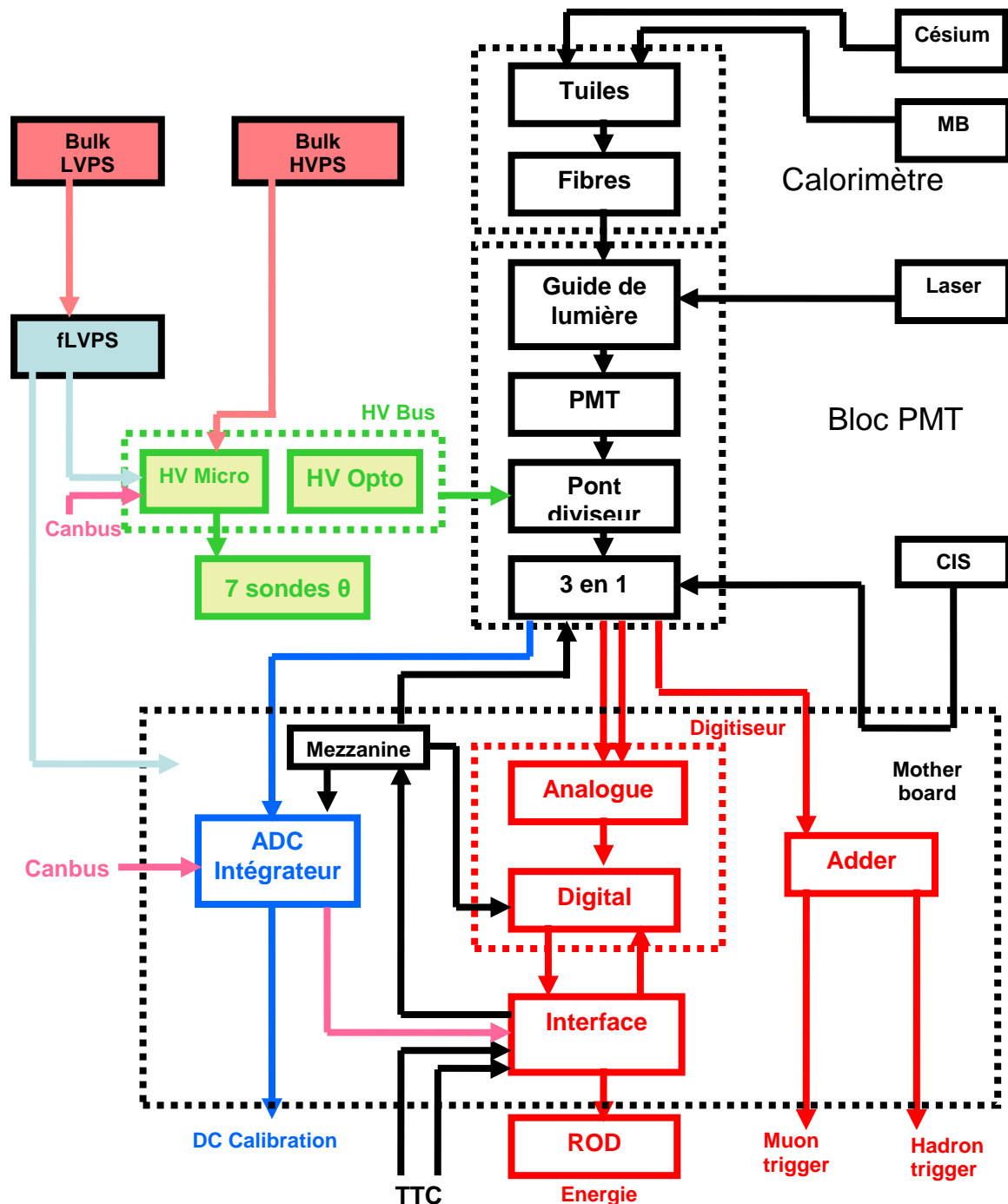
Un super-tiroir est constitué :

- De blocs PMT, à l'intérieur desquels se trouvent un guide de lumière, un PMT, un pont diviseur et une carte 3 en 1.
- De cartes Bus.
- D'une carte Micro.
- De cartes Opto.
- De cartes Digitiseur
- De cartes "Adder" (Additionneur).
- De cartes "Mother Board" (Cartes mères).
- D'un ADC Intégrateur.
- D'une Mezzanine.
- D'un Interface.
- De cartes senseurs des Basses Tensions.
- D'un "patch panel" (Panneau d'entrées-sorties).
- D'un circuit de refroidissement (cooling).
- De câbles et connecteurs de liaison entre cartes.

Le nombre maximum de blocs PMT par tiroir est de 24, donc 48 sur un super-tiroir. Les différentes cartes sont regroupées suivant leur fonction et constituent les deux côtés du tiroir. Les cartes Bus, la carte Micro et la carte Opto constituent le côté "Haute Tension" (HV). Les Digitiseurs, Adders, Interface, Mother Boards, ADC Intégrateur et Mezzanine forment le côté "Lecture" (Readout) qui permet l'analyse du signal.

Remarque : Pour des raisons pratiques (Mots plus courts, pas de traduction satisfaisante, ...), nous conserverons, dans certains cas, la dénomination anglaise de certains éléments.

L'architecture et le fonctionnement de l'électronique d'un super-tiroir seront expliqués selon les 3 rubriques : Blocs PMT, coté Haute Tension, coté lecture.
Le schéma global est montré sur la Figure 4.



10 A QUOI SERVENT TOUS CES COMPOSANTS ?

10.1 LE BLOC PMT

10.1.1 Le guide de lumière

Le guide de lumière est un parallélépipède transparent (Matériau plastique ayant d'excellentes qualités optiques) qui reçoit la lumière émise par les fibres et va la répartir de façon aléatoire sur la fenêtre du photomultiplicateur, car ce dernier n'a pas la même réponse au bord ou au centre. La section carrée des guides favorise le meilleur mélange de la lumière et s'accorde parfaitement avec la forme des PMT. De cette façon, toutes les fibres d'une même cellule répartissent leur lumière sur toute la surface de la fenêtre d'entrée du PMT, quelles que soient leurs positions dans le toron.

L'usinage des 10 000 blocs a été réalisé à Prague.

PANNE : Matériau détérioré, sale (Rayure, ...).

10.1.2 Le Photomultiplicateur

Un Photomultiplicateur (PMT) est constitué d'une fenêtre, d'une photocathode, de 8 dynodes et d'une anode.

Les photons arrivent sur la fenêtre, la traversent, puis arrivent sur la photocathode où ils se transforment en photoélectrons (électron qui proviennent d'un photon).

La longueur d'onde de ces photons est d'environ 480 nm (bleu-vert). A cette longueur d'onde les PMT ont le meilleur rendement quantique, qui est d'environ 20%. Le rendement quantique est l'efficacité à transformer un photon en un photoélectron.

Les dynodes vont multiplier les électrons. Elles sont alimentées par des tensions différentes ajustées par le pont diviseur.

Le gain des PMTs est de 10^5 , ce qui correspond à une Haute Tension moyenne de départ de 680V (chaque Haute Tension étant différente pour tous les PMT), et l'anode recueille le signal.

Tout cela est regroupé dans une enceinte avec un vide poussé. Les PMT sont les meilleurs amplificateurs au monde. Même dans l'obscurité, ils délivrent un signal dit courant noir ou d'obscurité (qui correspond en gros à l'agitation thermique des électrons dans les composants). Il doit évidemment être très petit, ici il est très inférieur à 1 nA.

Lorsqu'une certaine quantité de photons arrive sur le PMT et que ceux-ci se transforment en photoélectrons, il se crée une impulsion électronique (pulse). Ce pulse est caractérisé par son temps de montée et son temps de descente, qui sont différents (le temps de descente est plus lent que celui de montée), et par sa largeur à mi hauteur.

Un PMT possède un temps de montée d'environ 1.2 ns. Les pulses eux ont un temps de montée plus grand de l'ordre de 5 ns, qui rend compte des phénomènes physiques liés aux conversions de lumière dans les tuiles et dans les fibres.

Il y a environ 10 000 PMT dans le détecteur Atlas. Conçus et fabriqués par la société Hamamatsu, au Japon, ils ont été optimisés grâce aux travaux menés au LPC pendant près de 7 années. Ce produit est très novateur : section carrée, enveloppe métallique, nature et proximité des dynodes, compacité, propriétés intrinsèques.

Les PMT ont été achetés et testés dans 7 laboratoires (Europe : Clermont-Ferrand, Lisbonne, Pise, Valence ; Russie : Dubna ; Etats-Unis : Urbana, UTA).

ENTRÉE : Photon.

SORTIE : Le signal de l'anode (charge, pulse).

PANNES : - Evaporation de la photocathode (perte du vide).

- Courant noir trop fort.

Les pannes de PMT dans les tiroirs sont très rares.

10.1.3 Le pont diviseur

Un pont diviseur reçoit une seule Haute Tension qu'il répartit sur la photocathode, sur les 8 dynodes et sur l'anode, ceci afin d'accélérer les électrons et de les multiplier. Il récupère également le signal de l'anode (signal rapide) et sert de support au PMT et à la carte 3 en 1. Ces liaisons sans câbles minimisent les pannes de connectique et la sensibilité à certains bruits électriques.

Les ponts ont été conçus et fournis par Clermont-Ferrand.

PROBLEME : Court circuit à cause d'un dépôt sous une capacité sur une très faible quantité de ponts. Les 11 000 ponts ont été réparés alors que Clermont avait élaboré un banc test qui permettait de trouver les ponts en panne. Mais le banc n'a pas été approuvé. Il a servi, néanmoins, à tester les ponts après leur réparation.

Le nombre de pannes est très faible.

10.1.4 La carte 3 en 1

La carte 3 en 1 effectue une mise en forme du signal de l'anode. Le pulse à l'anode est négatif et le temps de montée et de descente sont différents. La carte 3 en 1 va redresser le signal, qui sera positif, et il n'y aura plus de différence entre le temps de montée et celui de descente. La largeur à mi hauteur de tous les signaux est constante (50 ns). La hauteur du signal dépend de la charge. La dynamique maximum est de 5V, ce qui correspond à une charge maximale de 800 pC.

Les 10 000 cartes 3 en 1 ont été conçues et fournies par Chicago.

ENTRÉES : Par le câble Bus (gris) rentrent des signaux de commande. Il est également possible d'injecter des charges afin de provoquer des pulses. Ce câble Bus va sur la carte ADC Intégrateur via les Mother Boards. Il est aussi relié à la Mezzanine, qui permet d'introduire le signal d'horloge.

SORTIES : - Sortent un signal bas gain et un signal haut gain (câbles bleu et vert). Il s'agit de signaux pulsés qui sont des signaux différentiels. Lorsque le signal interne de la 3 en 1 est multiplié par 32, alors on obtient le signal haut (High) gain, et s'il est divisé par 2, il s'agit du signal bas (Low) gain, ce qui entraîne un rapport de 64 entre les 2 gains. Les signaux haut et bas gain vont sur le Digitiseur.

- Sort un déclenchement "Trigger" (câble vert), qui est également un signal différentiel, qui fonctionne en bas gain, et va sur la carte Adder.

- Sort un câble Bus (gris), après intégration des charges sur un certain temps, ce qui donne un courant. 6 gains sont possibles, numérotés de 0 à 5.

PANNES : - Au niveau des signaux différentiels, les 2 signaux ne sont plus identiques (demi signal), ceci en direction des voies Adder et Digitiseur.

- La variation entre la réponse et la charge injectée doit être linéaire, or il arrive que pour un gain elle ne le soit pas.
- Le bruit.
- Un court-circuit.

10.1.5 Le bloc PMT

Le bloc PMT est un cylindre en fer (et de pièces annexes également en fer) qui sert de blindage magnétique au PMT et contient donc un guide de lumière, un PMT, un pont diviseur et une carte 3 en 1. Les blocs PMT ont été répartis en 7 zones, afin de tenir compte via les PMT de leur association avec les tuiles qui ont des rendements lumineux différents selon l'époque de leurs productions.

La conception des blocs PMT a été faite à Clermont-Ferrand, ainsi que le lancement de leur production avant de la donner à Athènes.

PANNES : Des montages défectueux au retour d'Athènes, généralement détectés lors de leur insertion dans les tiroirs et non répertoriés dans notre étude.

10.1.6 Résumé du Principe de fonctionnement du Bloc PMT

La lumière issue de chaque toron de fibres « excitées » par des interactions est convertie en signal électrique par des Photomultiplicateurs (PMT) placés à l'intérieur de blocs PMT en regard du toron.

Chaque bloc PMT est constitué de diverses autres pièces, telles que :

- Un guide de lumière qui uniformise la lumière incidente à direction du PMT, quelle que soit la fibre optique considérée à l'intérieur du toron.
- Une carte électronique pont diviseur qui reçoit une Haute Tension (HT) extérieure et la distribue à l'anode et aux 8 dynodes du PMT. Elle sert également de support du PMT et d'une autre carte électronique dite carte 3 en 1.
- Une carte 3 en 1 qui met en forme le signal issu du PMT et assure une calibration de la chaîne électronique via l'injection de charges étalonnées.
- Diverses autres pièces mécaniques servant de supports ou de blindages magnétiques.

Les blocs PMT sont placés dans des logements spécialement aménagés dans les tiroirs et qui les traversent de part en part.

Les deux autres faces des tiroirs reçoivent, respectivement, la régulation des Hautes Tensions appliquées à chaque pont diviseur et la numérisation des signaux issus des blocs PMT.

Les blocs PMT ainsi que leurs composants sont numérotés de 1 à 48 en partant du tiroir interne vers le patch panel.

10.2 SYSTEME DE HAUTE TENSION

Le côté Haute Tension a pour but de répartir l'unique Haute Tension reçue par le super-tiroir à tous les blocs PMT et surtout au pont diviseur, en régulant individuellement la Haute Tension de la voie concernée avec une précision meilleure que 0.5 V. Pour cela sont utilisés trois types de cartes: la carte Opto, la carte Micro et les cartes Bus, qui ont chacune un rôle spécifique.

10.2.1 La carte Opto

Une carte Opto possède 24 voies, chacune alimentant un PMT. Il est donc nécessaire d'avoir deux cartes Opto par super-tiroir, soit une sur le tiroir interne et une sur le tiroir externe. Elle possède un optocoupleur par boucle de régulation, ainsi que des DAC et une sonde de température. Les DAC fonctionnent sous une tension de 15V, et il ne faut surtout pas dépasser les 17V. La boucle de régulation permet d'ajuster avec une grande précision la valeur désirée de la Haute Tension pour chaque PMT.

Les 540 cartes Opto ont été conçues et fournies par Clermont-Ferrand.

ENTRÉES : Entre via la carte Micro et la carte Bus la valeur digitale souhaitée.

SORTIES : Sort une Haute Tension souhaitée, par canal, appliquée au pont diviseur.

PANNES : - Fuite d'une résistance haute tension (changement de la valeur).
- Fuite de l'optocoupleur ou mauvaise qualité.

10.2.2 La carte Micro

Elle comporte un microcontrôleur (microprocesseur), à l'intérieur duquel il y a un Interface CANbus (Réseau de terrain) et un ADC. La carte Micro possède également une sonde de température (il y en a 7 au total par super-tiroir). La vitesse du CANbus est de 250 kbits/s. Elle comporte également des DAC (Convertisseur Digital Analogique). C'est elle qui contrôle les informations. Entre le CANbus qui commande la carte Micro et sortent des informations concernant les tensions souhaitées, les températures, les Hautes Tensions externes... La liaison avec la carte Opto se fait via la carte Bus.

Les 270 cartes Micro ont été conçues et fournies par Clermont-Ferrand.

PANNE : Mauvaise programmation de la carte.
Cependant, il y a peu de pannes.

10.2.3 Les cartes Bus

Il y a une carte Bus par tiroir (donc 2 par Super-tiroir), posée directement sur le tiroir. Les cartes Bus pour le tiroir interne et externe sont différentes, elles sont rigides et reliées par une carte Bus flexible. Ces 3 types de cartes véhiculent les basses tensions à destination des cartes Opto et Micro (+15V, -15V et 5V), les Hautes Tensions à destination des ponts diviseurs, ainsi que d'autres informations (Sondes de température, tous les signaux de commande, ...).

Il y a une sonde de température qui est sous la carte Bus et qui mesure la température au niveau de l'aluminium (le matériau du tiroir).

Un tiroir possède 24 voies, 12 du côté pair et 12 du côté impair, ce qui fait 4 côtés par super-tiroir. S'il y avait un court-circuit sur une carte ou sur le pont diviseur, alors les 48 voies ne marcheraient plus. Aussi 4 interrupteurs (switches) ont été mis en place afin de contrôler un côté (pair ou impair) de chaque tiroir, ce qui permet en cas de besoin de mettre hors circuit un nombre quelconque des 4 parties sans perdre le reste.

Les ponts diviseurs sont reliés à la carte Bus soit directement pour le tiroir interne, soit indirectement pour le tiroir externe. En effet, sur le tiroir externe, il y a des petites cartes dites « noise killer » (tueuses de bruit) intercalées entre les ponts diviseurs et la carte Bus. Il existe 2 types de cartes « noise killer », les gauches et les droites, suivant le côté.

Les 270 cartes de chaque type (Rigides Internes ou Externes, et Flexibles) ont été conçues et produites par Clermont-Ferrand.

ENTRÉES : Entrent les Basses et les Hautes Tensions, et les signaux de commande venant du CANbus.

SORTIES : Sortent les Basses et les Hautes Tensions, et des informations diverses pour le CANbus.

PANNES : - Avec l'humidité, il peut y avoir des courts-circuits.
- Problème avec les switches et les noises killers.

10.2.4 Résumé du principe de fonctionnement du système de Haute Tension

Recevant une HT extérieure unique, celle-ci est distribuée sur tous les blocs PMT d'un super-tiroir. Des boucles de régulation dédiées permettent un ajustement individuel de chaque tension appliquée.

Les régulations sont implémentées sur des cartes dédiées appelées cartes Opto (Pour Opto-coupleurs), à raison de 24 voies maximum par carte. Il y a une carte pour chaque tiroir interne et une carte pour chaque tiroir externe d'un super-tiroir.

Ces cartes Opto sont gérées par une carte intelligente dotée d'un Microcontrôleur, appelée carte Micro, placée sur chaque tiroir externe.

Les cartes Opto et Micro sont supportées par des cartes rigides très longues qui recouvrent presque toute la longueur de chaque tiroir et appelées cartes Bus. A la jonction des deux tiroirs, des cartes Bus flexibles assurent les continuités électriques entre les cartes Bus rigides. Des connecteurs placés sur les cartes Bus rigides permettent de relier les blocs PMT et d'appliquer les HT individuelles régulées.

Enfin, ce système de HT gère également 7 sondes de température par super-tiroir placées en divers points (1 sonde sur chaque carte Opto, 1 sonde sur chaque carte Bus rigide, 1 sonde sur la carte Micro, 1 sonde vers l'Interface, et 1 autre sonde à l'intérieur du bloc PMT #22).

Le contrôle lent est effectué via un réseau CANbus placé en « Daisy chain » de 16 Super-Tiroirs et relié à chaque microcontrôleur hébergé par chaque carte Micro.

10.3 LE COTE LECTURE

10.3.1 La carte Adder

Le déclenchement ("Trigger") du calorimètre doit arriver rapidement à l'électronique d'ATLAS. De plus, son seuil en énergie doit pouvoir être ajusté selon les besoins. La carte Adder réalise la somme analogique des cellules dans une même « tour » pointant vers la zone de collision et sensée contenir les particules intéressantes. Le signal Hadron (jet ou hadron isolé) est la somme des informations PMT associés à toutes les cellules de la même tour, tandis que le signal Muon correspond à l'énergie de la dernière cellule, cellule la moins sollicitée en énergie. Ce signal Muon est amené à la carte Adder qui va l'amplifier.

Les cartes Adder sont numérotées de 1 à 10 en partant du tiroir interne vers le patch panel. Il arrive également que les Adder soient désignés par rapport au bloc PMT le plus proche, ce qui ne sera pas le cas ici.

Les 2700 cartes Adder ont été conçues et produites par Rio de Janeiro.

ENTRÉES : Entrent les signaux Trigger provenant des cartes 3 in 1. Il y a jusqu'à 6 entrées utilisables (en réalité le maximum de cellules additionnées est de 5).

SORTIES : Sortent un signal Hadron et un signal Muon.

PANNES : Les pannes les plus fréquentes proviennent des câbles qui sont endommagés ou des connecteurs.

Les particules vont presque à la vitesse de la lumière, mais il y a quand même un retard entre les cellules traversées en premier et celles traversées en dernier. Il faut combler ce retard, à l'aide de câbles de retard ("Delay"), qui sont placés entre les sorties Trigger de la carte 3 in 1 et les entrées de la carte Adder.

Il existe d'autres câbles, comme les câbles Trigger qui amènent les signaux Hadron et Muon au patch panel.

Les câbles delay et trigger ont été fabriqués à Prague, selon les spécifications de Clermont pour leur mise en torons. Ils sont très fragiles et la perte d'un des 2 signaux différentiels est la panne la plus fréquente.

Il y a également des câbles prolongateurs pour certaines voies des tiroirs externes des tonneaux étendus, reliant la sortie de la carte 3 en 1 à la carte Adder.

Ces câbles prolongateurs (quelques centaines) ont été conçus et produits par Chicago.

10.3.2 La carte Digitiseur

Elle a deux fonctions.

- Elle traite les pulses (partie énergie) qui proviennent des câbles bleu et vert de la carte 3 in 1, et réalise la conversion analogue-digitale.
- Fonction "pipeline".

Il y a 6 canaux sur une carte Digitiseur, associés chacun à un chip ADC pour chaque Gain (Haut et Bas), soit 12 ADC par Digitiseur.

Le piédestal correspond à la mesure du bruit de fond (bruit en l'absence de signal). Les valeurs données par les ADC correspondent au signal plus le piédestal ($ADC = P+S$). En mesurant P, on peut déterminer le signal.

Ces informations doivent être stockées (pendant 2.5 μs) dans l'attente du signal de déclenchement issu d'ATLAS, d'où le rôle joué par les chips "pipeline". L'électronique échantillonnant à 40 MHz, le "pipeline" contient 100 échantillons dans l'attente du déclenchement. Il y a un pipeline (TileDMU) pour 3 canaux, soit deux pipelines par Digitiseur. Après sélection du bon événement, 7 échantillons sont conservés : 1 au voisinage du pic, 4 avant (dont sur le niveau de bruit) et 2 après.

Cette électronique exige des basses tensions très précises (3,3V et 5V digital), en particulier le 3.3 V avec une incertitude de 0,1V.

La basse tension est amenée au centre du super-tiroir et est distribuée des deux côtés. La liaison entre les cartes pour l'alimentation se fait avec des dominos.

Comme il y a au maximum 24 blocs PMT par tiroir, donc 24 canaux, et qu'une carte Digitiseur peut recevoir 6 canaux, il y a 4 cartes Digitiseur par tiroir, soit 8 par Super-tiroir. Ils sont donc numérotés de 1 à 8, en partant du patch panel vers le tiroir interne.

Les cartes Digitiseurs d'un même tiroir sont reliées entre elles par des cartes flexibles "short flex foils". Le dernier Digitiseur de chaque tiroir est relié à l'Interface par des cartes

flexibles plus longues : la "medium flex foil" pour le tiroir externe et la "long flex foil" pour le tiroir interne.

Les 2000 cartes Digitiseurs et les Short Flex Foils ont été conçues et produites par Stockholm. Les Medium et Long Flex Foils ont été conçues et produites par Chicago.

ENTRÉES : Entrent les signaux différentiels haut gain et bas gain provenant de la carte 3 in 1 (jusqu'à 6 canaux par carte Digitiseur).

SORTIES : Sortent les différents signaux différentiels qui ont été convertis.

PANNES : - Panne des ADC.

- La configuration utilisée pour les pipelines ne fonctionne pas correctement.
- Panne des dominos.
- Panne des différentes flex foils.

10.3.3 La carte Mezzanine

La Mezzanine renvoie le signal d'horloge, qu'elle reçoit par l'Interface via le câble bleu, à toute les carte 3 in 1 d'un super-tiroir, aux Digitiseurs ainsi qu'à l'ADC Intégrateur. (Le composant TTCrx correspond à un composant qui envoie les signaux d'horloge). Les 300 Mezzanines ont été conçues et produites à Chicago.

10.3.4 La carte Interface

Il s'agit de l'interface entre les tiroirs et le monde extérieur (ROD :Read Out Driver). Il y a 1 Interface par Super-tiroir qui est située sur le tiroir extérieur. Il y arrive les informations provenant des tiroirs externe et interne grâce aux medium et long flex foils. L'Interface va ordonner les informations issues des Digitiseurs et réaliser une conversion électro-optique des signaux numérisés.

Les fibres qui entrent (TTC, timing) et qui sortent (ROD, énergies) sont dédoublées par soucis de sécurité.

Les 300 Interfaces ont été conçues et produites à Chicago, ainsi que les fibres optiques TTC et ROD.

ENTRÉES : - Informations des tiroirs externe et interne.

- Signaux d'horloge, de déclenchement et de commande qui reviennent d'ATLAS via le TTC (Trigger Timing Clock).

SORTIES : Sortent, par deux fibres optiques, les signaux convertis.

PANNES : - Reprogrammer l'interface avec l'USB Blaster.

- D'autres pannes compliquées.

10.3.5 La carte ADC Intégrateur

L'ADC Intégrateur va intégrer, sur quelques ms (temps assez long), la charge issue de chaque carte 3 in 1. Il y a une seule carte ADC Intégrateur par super-tiroir, qui contient un ADC unique, précédé d'un multiplexeur. Elle traite toutes les cartes 3 in 1 d'un super-tiroir, les unes après les autres; cela prend du temps, mais ce n'est pas très grave car il s'agit de la partie électronique lente.

Les 300 cartes ADC Intégrateur ont été conçues et produites à Barcelone.

ENTRÉES : Entrent les signaux issus de la carte 3 in 1 via le câble gris, ainsi que le signal d'horloge, qui provient de l'Interface via la mezzanine et la Mother Board.

SORTIES : Sortent les courants mesurés pour chaque gain et carte sélectionnés. Les résultats sont transmis par le CANbus via une interface CANbus logée sur la carte ADC Intégrateur.

PANNES : - ADC défectueux (mauvais piédestal, pas linéaire).

- A l'origine, le CANbus de l'ADC Intégrateur avait une vitesse de 500 kbits/s, mais avec la grande longueur de câble reliant la salle extérieure aux tiroirs, la vitesse était trop rapide et il n'était pas possible de suivre. Les cartes ont été reprogrammées avec une vitesse de 250 kbits/s.

10.3.6 Les cartes Mother Board

Il y a 4 Mother Boards différentes par super-tiroir, donc 2 par tiroir : section 1, section 2, section 3 et section 4. La Mother Board section 1 est située vers le Patch Panel. Les Mother Boards se posent directement sur les tiroirs. Elles reçoivent les basses tensions qui alimentent les cartes 3 in 1, les Adders, l'ADC Intégrateur, la Mezzanine et l'Interface. Sur chaque Mother Board, il y a des fusibles, ainsi qu'une tension de référence. Cette tension de référence est la même pour chaque Mother Board, et elle est envoyée sur les cartes 3 in 1 pour générer l'injection de charges électroniques pour des tests.

La topologie des cartes placées sur les Mother Boards n'est pas la même pour le tonneau central et les tonneaux étendus : nombres différents de Digitiseurs et d'Adders.

La Mother Board section 1 est identique pour tous les tonneaux. Il s'agit de la Mother Board la plus complexe car elle supporte la Mezzanine, l'ADC Intégrateur, ainsi que deux cartes Adders.

Elles ont été conçues et produites par Chicago.

Les pannes les plus fréquentes sont des courts-circuits sur des pistes ou des composants.

10.3.7 Résumé du principe de fonctionnement du système de lecture

Elle comporte deux parties : celle qui effectue des mesures de courant liées au système de calibration à l'aide d'une source radioactive de Césium qui traverse toutes les tuiles de chaque module, et celle qui se préoccupe de la mesure des impulsions électroniques issues du passage des particules ou du système Laser qui les simule.

Les mesures de courant sont effectuées à l'intérieur de la carte ADC Intégrateur directement connectée à toutes les cartes 3-en-1 d'un super-tiroir.

Les mesures d'impulsions sont de deux types destinés, respectivement, au déclenchement (Trigger) du détecteur ATLAS et aux mesures d'énergie (Hadrons et Muons).

Une sommation analogique de plusieurs signaux (entre 3 et 5) est effectuée par des cartes dites Adders, à destination du système de déclenchement placé à l'extérieur dans la salle de comptage annexe (Salle USA 15).

Par ailleurs, les informations énergies sont numérisées et stockées provisoirement dans des cartes appelées Digitiseurs. Après validation par le retour du système extérieur de déclenchement d'ATLAS (Une combinaison des informations Adders et de celles fournies par le Calorimètre Electromagnétique à Argon liquide), une sélection des informations

numérisées est transmise au monde extérieur (Salle USA 15) par des fibres optiques via une carte appelée Interface.

Les cartes ADC Intégrateur, Adders et Digitiseurs sont supportées par des cartes mères dédiées appelées Mother Boards, à raison de 2 Mother Boards par tiroir.

Les signaux d'horloge et le retour du déclenchement sont assurés par des fibres optiques via la carte Interface.

Le contrôle lent de la carte ADC Intégrateur est effectué via un réseau CANbus placé en « Daisy chain » de 16 Super-Tiroirs.

10.4 CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Le circuit de refroidissement a pour but d'éliminer la chaleur engendrée par l'électronique embarquée. Des 2 côtés du super-tiroir, il y a un circuit de refroidissement. Ce système est réalisé à partir de tuyaux en aluminium, noyés dans la masse de la matrice de chaque tiroir (en aluminium), dans lesquels circule de l'eau en dépression. Ce système est dit "sans fuites" ("Leakless Cooling System"). L'eau arrive du patch panel, traverse le super-tiroir, puis revient, en faisant une boucle, jusqu'au patch panel. Pour la jonction entre les tiroirs interne et externe, il y a des connecteurs, différents selon s'il s'agit du côté Haute Tension ou du côté Lecture (Readout). Pour avoir une température constante tout le long du super-tiroir, le système est croisé, c'est-à-dire, que si du côté Haute Tension l'eau arrive par en haut et sort par en bas, alors du côté Readout, l'eau arrive par en bas et ressort par en haut. Les tuyaux sont insérés dans des rainures prévues à cet effet et ils sont recouverts d'une colle composée d'aluminium et d'araldite, qui est le meilleur mélange pour une bonne conduction. La consommation d'un super-tiroir du tonneau central est d'environ 200W.

Les principales pannes sont des fuites qui peuvent provenir des connecteurs inter-tiroirs, mais aussi des connecteurs du patch panel, ou encore des tuyaux souples de liaison.

10.5 PATCH PANEL

Le patch panel est situé sur le tiroir externe. Il permet de réaliser toutes les entrées/sorties.

ENTRÉES : - Câble Haute Tension.

- Les 8 basses tensions différentes (5 pour le côté Readout, 3 pour le côté Haute Tension).

- Le CANbus, qui est commun aux 2 côtés avant le patch panel, puis qui se sépare juste après.

- Les 2 fibre TTC.

- L'eau.

SORTIES : - Le CANbus.

- Les signaux énergies ROD (2 fibres optiques, signaux numérisés).

- Les signaux différentiels Trigger (Hadron et Muon).

- L'eau.

11 ETUDE STATISTIQUE

Lors de mon stage j'ai effectué une étude statistique sur les pannes des tiroirs, et surtout des super-tiroirs. Mais auparavant, il est utile de présenter comment sont réalisées les opérations de montage et de certification des tiroirs.

11.1 ETAPES DE MONTAGE ET CERTIFICATION DES TIROIRS

Différentes étapes sont nécessaires pour construire et utiliser un super-tiroir (voir annexe 7). Il y a tout d'abord la fabrication des composants dont est responsable une quinzaine de laboratoires, dont le LPC, qui constitue l'étape 0 sur l'organigramme. Ces laboratoires ont mis au point des bancs de test dédiés au type de composant produit, en suivant une démarche qualité rigoureuse : tous les éléments délivrés au LPC ont été certifiés et doivent fonctionner. Leurs caractéristiques sont accessibles sur le Web. Cette étape n'a pas été prise en compte lors de mon étude.

Il y a ensuite l'assemblage à Clermont-Ferrand, qui constitue l'étape 1 (voir annexe 8).

L'assemblage est d'abord effectué sur les tiroirs individuels. Il est séparé en deux parties, le montage mécanique, puis le montage électronique.

Lors de l'assemblage mécanique, le circuit de refroidissement est mis en place (ainsi que les goulottes qui facilitent le routage et la protection des câbles et des fibres, et le patch panel). Une première série de tests est réalisée sur l'étanchéité du système de refroidissement : test en surpression (à quelques bars), puis tests en dépression (à -0.5 bar). Si les tests sont bons, alors il est possible de passer à l'étape suivante qui est l'assemblage électronique, sinon des réparations sont effectuées, jusqu'à la validation des tests.

L'assemblage électronique consiste à monter les différentes cartes et blocs PMT au bon endroit sur un tiroir interne ou externe. Deux chaînes de montage permettent à deux opérateurs de monter, en parallèle, le même type de tiroir (interne ou externe, tonneau central ou tonneau étendu, selon un type donné en fonction des blocs PMT). Des contrôles croisés sont effectués à différents moments du montage et des réparations (non répertoriées ici) sont éventuellement faites. En moyenne, deux tiroirs identiques sont assemblés par jour.

Après avoir assemblé tous les composants électroniques des 2 tiroirs, interne et externe du type souhaité, ceux-ci sont associés en un super-tiroir qui est inséré dans un banc test fixe. Ce banc test peut accueillir 2 super-tiroirs. Deux jours sont donc disponibles, en moyenne, pour certifier (et éventuellement réparer) un super-tiroir.

Un premier test complet de tous les composants, utilisant le logiciel dédié WILLY, permet de détecter les composants défectueux. Cette série de tests prend une dizaine de minutes lorsqu'il n'y a aucune panne. Tout ou partie de ces tests sont répétés, après réparations, jusqu'à un fonctionnement parfait ... et cela peut prendre beaucoup plus de temps !

Le test suivant, appelé test court, complète les précédents, avec mise sous tension des PMT. Il prend environ 35 minutes. Si le test n'est pas satisfaisant, alors des réparations sont effectuées, et un retour à l'étape précédente avec WILLY doit valider le fonctionnement, avant d'effectuer de nouveau un test court.

Le dernier test est le test long : c'est un test de stabilité durant lequel les PMTs sont alimentés et reçoivent des impulsions lumineuses issues d'une LED. Il est effectué durant la nuit, pendant une quinzaine d'heures. Comme pour le test court, s'il n'est pas bon alors le super-

tiroir subit des réparations, puis s'enchainent de nouveau le test avec WILLY, le test court et le test long.

Quand les trois tests sont réalisés avec succès, alors le super-tiroir peut-être transporté au CERN afin de réaliser l'étape suivante.

Cette dernière correspond à l'insertion des super-tiroirs dans leurs modules respectifs. Après l'insertion, un test est réalisé à l'aide d'un banc test portable appelé MobiDICK, qui effectue tous les tests précédemment réalisés au LPC (voir annexe 10). Un autre banc test vérifie l'étanchéité du circuit de refroidissement. Des réparations sont éventuellement effectuées jusqu'à validation complète par MobiDICK et le banc test du circuit de refroidissement.

Enfin, le système d'acquisition définitif (DAQ) de l'expérience prend le relai pour effectuer la réception finale ("Commissioning"). Si des éléments sont défectueux, MobiDICK est de nouveau utilisé avant et après de nouvelles réparations.

11.2 HISTORIQUE DU FONCTIONNEMENT DES TIROIRS

L'histoire de chaque super-tiroir va être suivie à travers deux grandes étapes :

- Etape 1 : de l'assemblage du super-tiroir à sa livraison au CERN.
- Etape 2 : de son insertion dans un module au CERN à son "Commissioning".

Si un super-tiroir a été utilisé au CERN dans le faisceau test ou si, après insertion dans un module, il a du être extrait et retourné au LPC, nous considérerons qu'il s'agit toujours de l'étape 1.

11.3 REGLES SUIVIES

- Les pannes prises en comptes sont celles où le changement a effectivement résolu le problème. En effet, il arrive assez fréquemment que des remplacements n'aient pas réduit la panne : dans ce cas, le composant changé n'est pas comptabilisé.
- Il y a eu plusieurs versions de l'ADC Intégrateur: seule la version 5 est la bonne. Cependant, la détection d'une mauvaise version et son remplacement ne sont pas comptabilisées comme pannes ... en dépit du temps passé à effectuer le changement.
- Une carte Opto ou Micro ré-étalonnée ne comptent pas comme pannes.
- Une Interface reprogrammée ne compte pas comme une panne.

11.4 IDENTIFICATION DES PANNES

Tout d'abord, il a fallu réaliser un tableau complet par partition, c'est-à-dire pour LBA et LBC (les deux cotés du tonneau central), et EBA et EBC (les deux tonneaux étendus). Chaque tableau récapitule les 64 super-tiroirs et toutes leurs pannes respectives, en faisant appel à la fois à la Base de Données générale (gérée par le LPC), et aux différents cahiers d'expérience (logbooks) des activités au LPC et au CERN.

Puis pour chaque super-tiroir, j'ai réalisé un petit tableau afin de pouvoir comptabiliser le nombre de pannes pour les différentes pièces. A partir de ces tableaux, il est également possible de voir si une panne se reproduit.

Avec tous ces éléments, différentes pièces et notamment des cartes ont été étudiées plus précisément par rapport à leurs positions dans le super-tiroir, pour savoir si des zones sont plus sensibles que d'autres.

Tout cela représente un grand nombre de tableaux, puisqu'il y a 256 super-tiroirs. Ils seront stockés sur le site Web de l'équipe ATLAS, et je ne montrerai ici que des histogrammes pour illustrer les pannes. Les tableaux généraux des 4 partitions, pour les deux étapes, sont donnés dans l'annexe 9.

11.5 BILAN GLOBAL DES PANNES

Le bilan global est donné d'abord par super-tiroir, puis par type de composant.

11.5.1 Par super-tiroir

Le bilan global des pannes par super-tiroir rend compte des activités d'assemblage au LPC et de certification des tiroirs au CERN. Ce sont des activités assez lourdes puisqu'elles impliquent la manutention des tiroirs, celle-ci étant bien entendue plus difficile lors de l'étape 2, et en particulier dans la caverne.

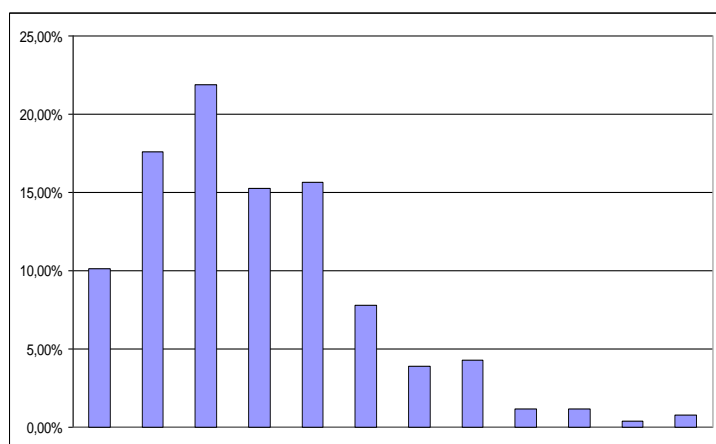


Figure 4 : évolution du pourcentage de super-tiroirs en fonction du nombre de pannes

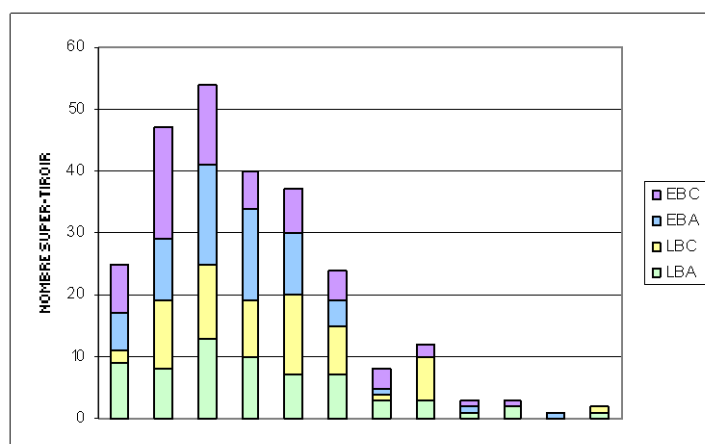


Figure 5 : évolution du nombre de super-tiroirs en fonction du nombre de pannes

Les figures 4 et 5 rendent compte du nombre de super-tiroirs ayant nécessité des interventions. Le premier pas des histogrammes correspond à 0 panne, le deuxième à 1, etc. La figure 4 donne, en relatif, les pourcentages des super-tiroirs ayant eu un nombre donné de pannes, et ce pour l'ensemble des étapes 1 et 2.

Nous constatons que seulement environ 10 % des super-tiroirs n'ont requis aucune intervention. Les pourcentages de super-tiroirs ayant subi de une à cinq pannes sont égaux à, respectivement, 18,4, 21,1, 15,6, 14,5 et 9,4. Au-delà de cinq pannes, les pourcentages sont inférieurs à 5.

La figure 5 donne, en absolu, le nombre de super-tiroirs ayant eu un nombre donné de pannes pour les quatre partitions LBA, LBC, EBA et EBC. Mise à part le nombre plus faible de super-tiroirs LBC n'ayant eu aucune panne, les comportements des quatre partitions sont voisins pour un nombre donné de pannes.

En étudiant les tableaux généraux, il apparaît qu'il est très rare qu'une panne survenue lors de l'étape 1 se reproduise lors de l'étape 2 : seulement 2 fois pour des cartes 3 en 1.

Ceci est très encourageant pour le fonctionnement ultérieur des tiroirs.

11.5.2 Par type de composant

Le bilan global des pannes par type de composant intéresse plus particulièrement les instituts qui les ont produits. Il permet également d'estimer l'impact sur l'enregistrement des données de physique, le cas extrême étant la perte totale d'un super-tiroir.

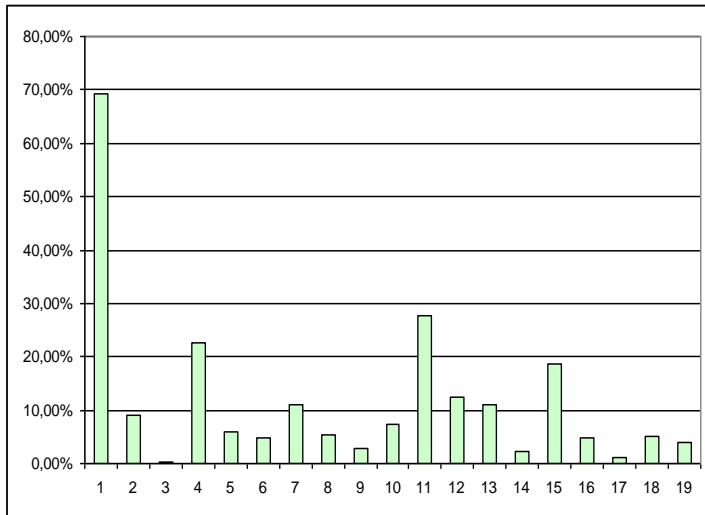


Figure 6 : Nombre relatif de super-tiroirs ayant eu en moyenne un composant donné en panne durant l'étape 1

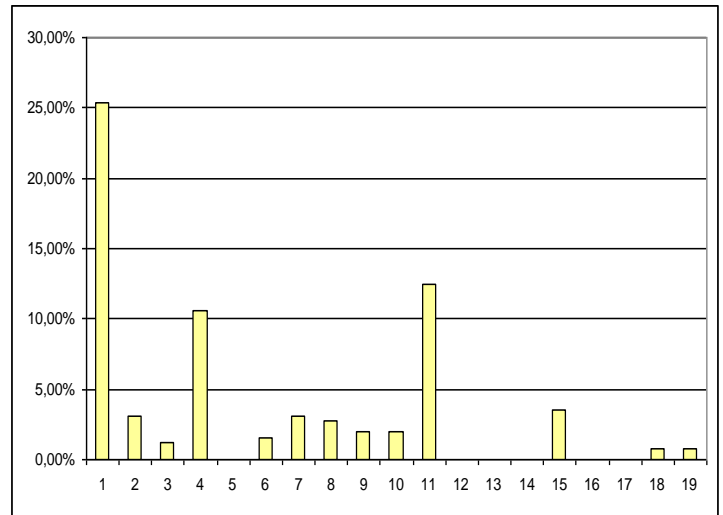


Figure 7 : Nombre relatif de super-tiroirs ayant eu en moyenne un composant donné en panne durant l'étape 2

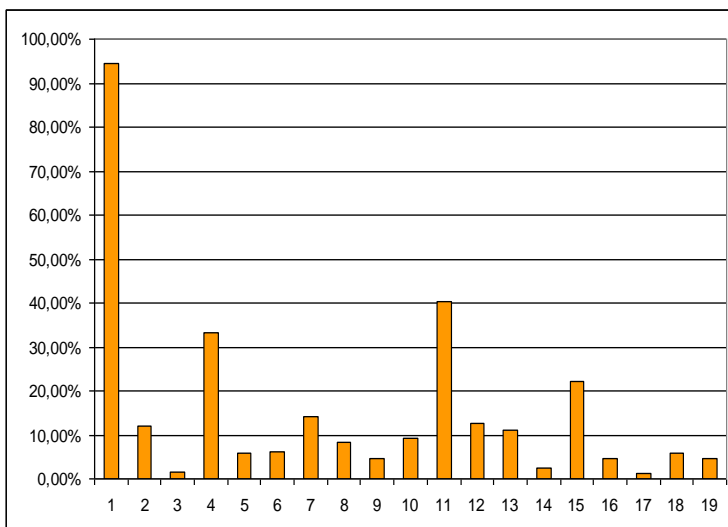


Figure 8 : Nombre relatif de super-tiroirs ayant eu en moyenne un composant donné en panne, sur l'ensemble des deux étapes

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1 : 3 en 1 | 11 : Digitiseur |
| 2 : Bloc PMT | 12 : Câble delay |
| 3 : HV Micro | 13 : Câble trigger |
| 4 : HV Opto | 14 : Câble prolong |
| 5 : HV Bus | 15 : Flex foil |
| 6 : Mother Board | 16 : Cooling |
| 7 : Interface | 17 : Noise killer |
| 8 : Mezzanine | 18 : sonde temp |
| 9 : ADC Intégrateur | 19 : autres |
| 10 : Adder | |

Les figures 6, 7 et 8 donnent un bilan global du comportement des composants pour les étapes 1 et 2 et pour la somme.

Nous constatons que les composants les plus fragiles sont dans l'ordre :

- Les cartes 3 en 1 : 94.5% des super-tiroirs ont eu en moyenne au moins une carte 3 en 1 défectueuse sur l'ensemble des étapes 1 et 2.
- Les Digitiseurs : 40.2% des super-tiroirs.
- Les cartes Opto : 33.6% des super-tiroirs.
- Les flex foils : 21.5% des super-tiroirs.
- Et autour de 10% les blocs PMT, Interfaces, Adders, câbles delay et câbles trigger.

L'origine des pannes pour les cartes 3 en 1 est en grande majorité due aux câbles (câbles trigger, puis câbles haut gain et bas gain). Par contre, leurs changements sont toujours des opérations lourdes qui demandent, le plus souvent, l'extraction du super-tiroir concerné.

Les chiffres donnés pour les cartes Opto sont en réalité inférieurs, car le défaut ne concernait généralement qu'une seule voie sur les 24. La même remarque pourrait s'appliquer aux Digitiseurs mais de façon nettement moins marquée.

Rapportés aux nombres de voies, les pannes de cartes 3 en 1 et Opto représentent seulement 2.5% chacune.

Dans la comparaison entre l'étape 1 et l'étape 2, il y a bien entendu beaucoup moins de pannes lors de l'étape 2 : 23.3% de pannes venant de l'étape 2, contre 76.7% lors de l'étape 1. Il convient de signaler que, à la différence du tonneau central, les tiroirs des tonneaux étendus n'ont pas encore été testés dans la caverne, ce qui explique le nombre inférieur de pannes pour l'étape 2 : soit 124 pannes pour les LB, et seulement 53 pour les EB.

Mais, grâce à l'évolution de MobiDICK, la certification a été plus rigoureuse avec les tiroirs EB fabriqués après les LB : nous pouvons espérer que les nouvelles pannes dans la caverne resteront à un niveau global inférieur.

Le classement des composants les plus fragiles est le même lors des deux étapes.

Le véritable impact sur l'enregistrement des données de physique devrait considérer le nombre de voies perdues (par exemple : carte 3 en 1 ou voies HV Opto) ou de super-tiroirs nettement perturbés ou même perdus. Cette étude devrait être faite une fois l'étape 2 réalisée lors de l'usage des super-tiroirs, ce qui est prématuré actuellement. Ces nombres devraient être extrêmement petits puisqu'au démarrage du LHC, c'est l'objectif zéro défaut qui est visé.

11.6 BILAN INDIVIDUEL DES PANNES

11.6.1 La carte 3 en 1

Pour les cartes 3 en 1, les pannes sont le plus souvent provoquées par les câbles haut gain et bas gain. Ces câbles sont très fragiles, il faut les courber le moins possibles, 90 degrés au maximum. Or ce n'est pas toujours évident pour certaines cartes qu'il faut relier au Digitiseur.

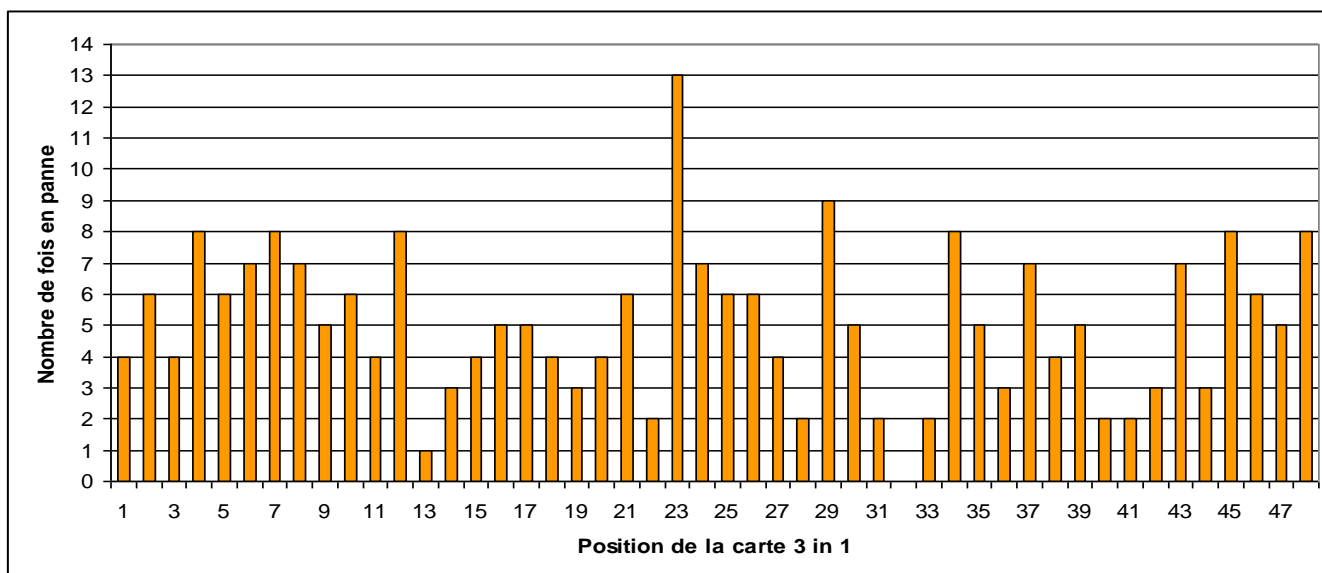
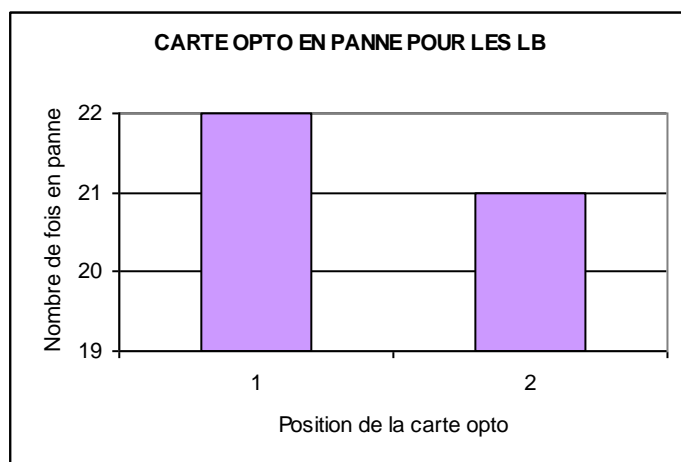


Figure 9 : évolution du nombre de pannes en fonction de la position de la carte 3 en 1

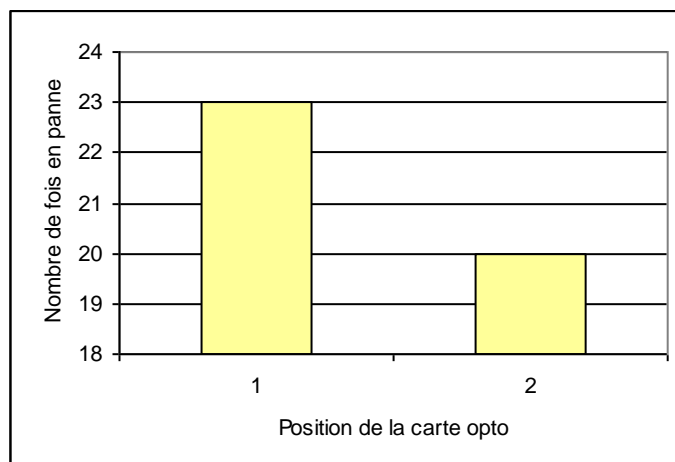
La figure 9 montre le nombre de pannes en fonction de la position de la carte 3 en 1, pour l'ensemble des deux étapes. Le nombre total de pannes des cartes 3 en 1 est de 242. La carte position 23 totalise 13 pannes au total. Elle est de loin la carte la plus exposée, suivie par la carte position 29 avec 9 pannes. C'est une carte située vers la jonction inter-tiroir, et peut-être que la liaison avec le Digitiseur est plus difficile que pour les autres, ce qui entraîne un câblage plus difficile, donc des pannes plus fréquentes. Le laboratoire qui a fabriqué les cartes à Chicago pensait que les pannes proviennent des soudures entre les cartes et les câbles. Cependant, après avoir effectué des réparations, des nouvelles cartes sont arrivées avec des nouveaux câbles beaucoup moins fragiles...

11.6.2 Les cartes HV Opto

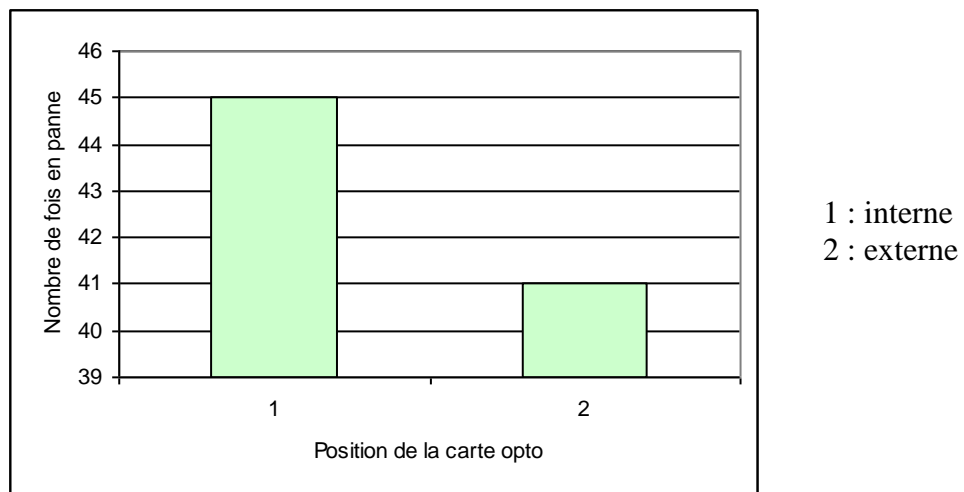
Les cartes Opto possèdent 24 voies. Le plus souvent, la carte est changée à cause d'une seule voie en panne. Il peut également arriver que ce soit un switch qui soit en panne, dans ce cas, c'est la moitié de la carte qui est en panne : c'est-à-dire 12 voies. La carte Opto possède également une sonde de température, qui lorsqu'elle est en panne entraîne un changement de la carte : dans ce cas, ces pannes ne comptent pas pour les cartes HV Opto mais pour les sondes de température.



a) pour le tonneau central



b) pour les tonneaux bouchons



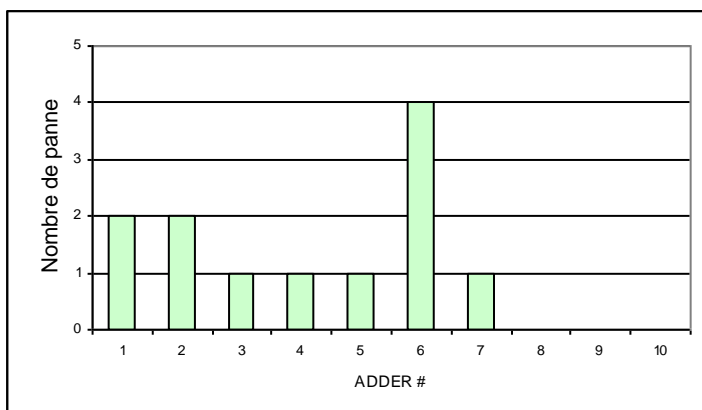
c) pour tous les tonneaux du calorimètre

Figure 10 : évolution du nombre de pannes en fonction de la position de la carte HV Opto

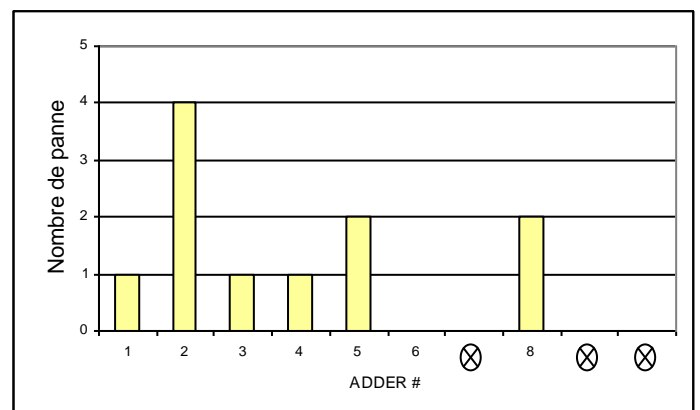
La figure 10 donne le nombre de carte HV Opto en pannes suivant leur position, interne ou externe, pour le Tonneau central, puis pour les Tonneaux bouchons et pour le calorimètre, cela sur l'ensemble des deux étapes. Sur la figure 10 a), le nombre de pannes est identique suivant la position de la carte. Pour la figure 10 b), il y a un peu plus de cartes HV Opto internes en panne que d'externes. Ce qui se répercute sur la figure 10 c). Il n'y a pas d'explication, car globalement il n'est pas possible d'affirmer que la position HV Opto interne soit plus sensible que l'externe. Cependant, le nombre total de pannes s'élève à 85, ce qui représente 16.6% des cartes HV Opto ayant eu une panne. Nous rappelons que, pour des raisons pratiques, une carte est changée même s'il n'y a qu'une seule voie défaillante.

11.6.3 Les cartes Adder

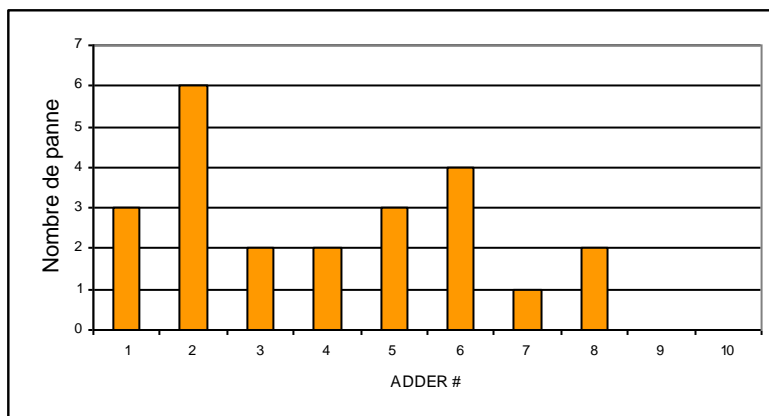
Les cartes 3 en 1 sont reliées aux cartes Adder, par des câbles trigger. Le problème le plus fréquent est un problème de connectique. En effet, il s'agit de 3 petites "pins" qui doivent rentrer dans leur support. Si la connexion est mal faite, alors le signal ne circule pas correctement, et ceci pour les 8 connecteurs de la carte Adder. Il y a également des problèmes de connectique entre l'Adder et la Mother Board, effectuée avec de longues rangées de "pins" très fragiles qui peuvent être tordues ou cassées lors du montage.



a) pour le tonneau central



b) pour les tonneaux bouchons



c) pour tous les tonneaux du calorimètre

Figure 11 : évolution du nombre de pannes en fonction de la position de la carte Adder

La figure 11 montre l'évolution du nombre de pannes en fonction de la position des cartes Adder dans le super-tiroir, cela pour le Tonneau central, puis pour les Tonneaux bouchons et pour le calorimètre. Ces pannes, au nombre de 24, regroupent celles obtenues durant les deux étapes.

La figure 11 nous montre qu'il y a plus de pannes sur le tiroir interne (de 1 à 5) que sur le tiroir externe (de 6 à 10). Ceci peut s'expliquer par le fait que sur les tiroirs externes des EB, les Adder #7, #9 et #10 sont absents, donc il y a moins de risques de panne. Cependant, pour les tiroirs du LB, où tous les Adders sont présents (sauf l'Adder #10), ceux situés aux positions #8, #9 n'ont subi aucune défaillance.

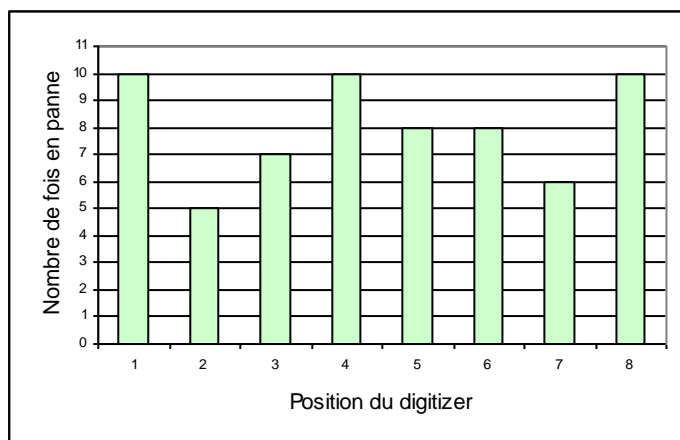
11.6.4 Les Digitiseurs

Il s'agit d'une carte complexe et avec des composants fragiles. Cependant, ce ne sont pas toujours les 6 voies de la carte qui tombent en panne, mais la moitié ou une seule.

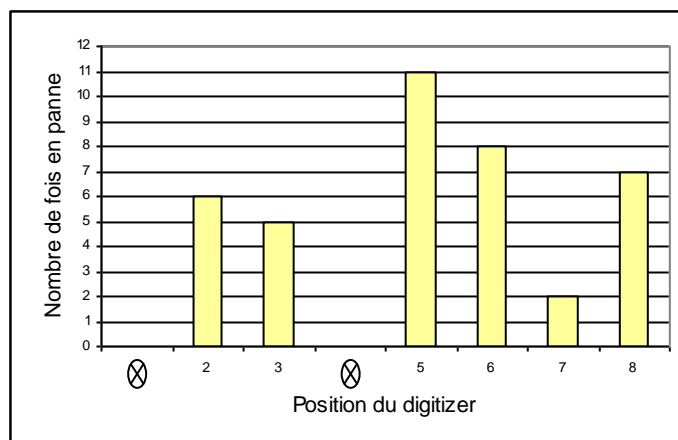
Lorsque c'est la moitié, le composant TileDMU, commun à 3 voies, peut être le responsable : Notons que les TileDMU sont très sensibles aux basses tensions.

Lorsqu'il s'agit d'une seule voie et un seul gain, c'est généralement l'ADC qui est fautif.

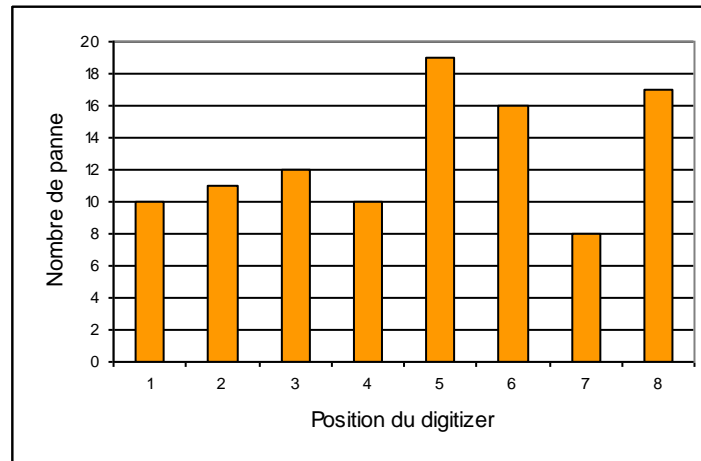
Le plus souvent le problème ne vient pas du Digitiseur, mais des shorts flex foils. Sur chaque carte, il y a deux connections de flex foils. Ces connections se réalisent avec 60 "pins" étendues sur 2 centimètres, ce qui entraîne une grande fragilité.



a) pour le tonneau central



b) pour les tonneaux bouchons



c) pour tous les tonneaux du calorimètre

Figure 12 : évolution du nombre de pannes en fonction de la position du Digitiseur

La figure 12 représente l'évolution du nombre de pannes en fonction de la position du Digitiseur. Il y a, peut être, un léger excès de pannes à la position 5, qui correspond au premier Digitiseur du tiroir interne, position sensible à la jonction inter-tiroir, en totalisant 19 pannes sur les 103 obtenues durant les deux étapes.

11.6.5 Les cartes Mother Board

Le plus souvent il s'agit seulement d'un problème sur un seul canal, concernant les basses tensions, ou un problème de communication CANbus.

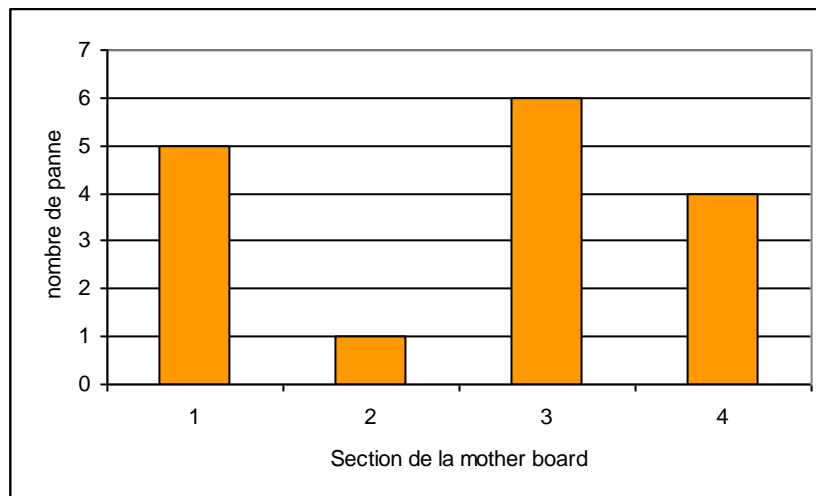


Figure 13 : évolution du nombre de pannes en fonction de la position des Mother Boards

Les cartes section 1 et, à un degré moindre, section 3 sont les plus complexes : les nombres de pannes sont donc un peu plus élevés que pour les autres, mais c'est moins lié à la position qu'à la nature même des cartes. Elles totalisent 11 pannes sur les 16 obtenues sur l'ensemble des deux étapes.

11.6.6 L'Interface

Les pannes de l'Interface ne sont pas toujours causées par l'Interface elle-même mais par les medium et long flex foils, qui ont les mêmes types de connecteurs que les short flex foils. On retrouve donc les mêmes types de pannes signalés pour les Digitiseurs, avec le problème supplémentaire que les routages des flex foils de l'Interface sont plus difficiles, et

nécessitent de les courber (ce qui n'est pas le cas pour les short flex foils). Cela entraîne un nombre final de 36 pannes. Il arrive aussi que l'Interface ne soit pas toujours programmée correctement quand elle est délivrée au LPC, d'où la programmation systématique à Clermont-Ferrand avant toute utilisation. Ces pannes liées à la programmation n'ont pas été prises en compte dans mon étude.

Une panne sur l'Interface est une panne grave, qui peut rendre le tiroir inutilisable.

11.6.7 La carte HV Micro

Les cartes Micro sont des composants qui ne tombent presque jamais en panne, seulement 4 pannes de répertoriées. Les pannes les plus fréquentes sont celles créées lors des faisceaux tests où le numéro de série de la carte HV Micro est mis à zéro par une erreur de manipulation. Ces pannes n'ont pas été comptabilisées dans mon étude, car il s'agit d'une erreur de manipulation et pas un problème provenant de la carte elle-même. Afin de contrer ce problème, MobiDICK a subi une évolution permettant de détecter si l'erreur provient du numéro de série et, si oui, de retrouver le bon numéro dans sa base de données et de le corriger.

11.6.8 Les cartes Bus

Les pannes provenant des cartes HV bus sont peu nombreuses. Les pannes rencontrées sont des courts-circuits sur les pistes, un mauvais contact avec les cartes HV Micro ou HV Opto ou avec les ponts diviseurs. Il se peut également que le changement de la carte soit dû à une panne de la sonde de température, alors dans ce cas, comme pour les cartes HV Micro et HV Opto, la panne est comptabilisée pour les sondes et pas pour la carte.

11.6.9 La carte Mezzanine

Le problème le plus fréquent des Mezzanines est qu'elles ne reconnaissent plus leur adresse. Il s'agit de cartes importantes et fragiles.

11.6.10 L'ADC Intégrateur

Une panne de l'ADC Intégrateur est une panne très grave pouvant amener à la perte du super-tiroir. Ce ne sont pas des cartes très fragiles.

11.6.11 Les câbles delay

Les câbles delay sont très longs et afin de les rentrer dans le super-tiroir, et en particulier à l'intérieur des goulottes, il faut réaliser beaucoup de boucles, ce qui fragilise les câbles et peut entraîner un déséquilibre des 2 signaux de la paire différentielle.

11.6.12 Les câbles trigger

Le problème des câbles trigger est voisin des précédents, mais avec moins de boucles, par contre c'est au niveau des connecteurs inter-tiroir que la difficulté de positionnement est la plus grande.

11.6.13 Les Flex foils

Les flex foils sont des composants souples et donc fragiles, et leurs connecteurs sont eux-mêmes très délicats à manipuler, tout comme les connecteurs qui se situent sur les

Digitiseurs et l'Interface. Normalement ils sont destinés à un usage unique, mais ce n'est pas le cas car il faut les manipuler afin de pouvoir réparer les cartes se situant aux alentours.

11.6.14 Les sondes de température

Elles sont saillantes peuvent être détériorées lors des manutentions.

11.6.15 Les dominos

Les pannes causées par les dominos sont en réalité beaucoup plus nombreuses, mais elles ne sont pas toujours répertoriées, donc le chiffre correspondant au nombre de pannes des dominos n'est pas réaliste. Comme les connecteurs flex foils, ils ne devraient être déconnectés qu'un nombre réduit de fois (pas plus de 5 fois !)...

2 ou 3 pannes (pas plus) ont seulement été répertoriées, mais c'est bien inférieur à la vérité.

12 CONCLUSION

Lors de mon stage au Laboratoire de Physique Corpusculaire, et plus particulièrement au sein de l'équipe ATLAS, j'ai découvert un domaine de physique fondamentale qui est celui de la physique des particules, avec le Modèle Standard et la supersymétrie.

Pour étudier ces particules, les outils principaux sont les accélérateurs de particules, comme le futur LHC, et les grands détecteurs, tels qu'ATLAS.

Ces grands détecteurs sont constitués de sous détecteurs qui ont chacun une spécificité. Durant mon stage j'ai notamment découvert le calorimètre hadronique à tuiles scintillantes (Tilecal), et plus précisément les super-tiroirs embarqués qui accueillent toute l'électronique frontale associée.

Ces super-tiroirs sont des composants essentiels du Tilecal. Ils permettent de recueillir les signaux optiques issus des tuiles scintillantes via des fibres optiques, de les transformer en des signaux électroniques et enfin de les numériser in-situ. Ils sont constitués de nombreux éléments qui relèvent tous de l'électronique de pointe, mais il arrive que certains éléments tombent en pannes.

J'ai donc réalisé une étude statistique sur les pannes des super-tiroirs. Cette étude a nécessité de rechercher ces pannes, de les répertorier puis de les analyser. Puis pour certains composants, une étude plus précise a été réalisée.

A partir de cette étude j'ai pu répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les composants les plus fragiles ?

Réponse : les cartes 3 en 1, les Digitiseurs, les cartes HV Opto et les flex foils.

Ce sont les cartes 3 en 1 qui correspondent aux accès les plus difficiles, entraînant très souvent l'extraction du super-tiroir, mais rapportées au nombre total de voies, les cartes 3 en 1 et les voies en panne des cartes Opto représentent un faible pourcentage.

Par contre, les problèmes induits par les Digitiseurs et les flex foils sont les plus délicats à détecter et les plus pénalisants sur le fonctionnement des super-tiroirs (par exemple, des bits perdus ou décalés).

- Après réparation, une panne se reproduit-elle au même endroit?

Réponse : Non, sauf quelques rares exceptions (2 cartes 3 en 1) qui relèvent plutôt du hasard.

- Y-a-t-il des zones où les supers-tiroirs sont plus fragiles ?

Réponse : Certainement à l'endroit de la liaison inter-tiroir, qu'il s'agisse de connexions ou de cartes.

La comparaison des étapes 1 et 2 montre qu'il y a effectivement moins de pannes lors de la deuxième étape, mais ce nombre reste relativement élevé : l'explication la plus souvent donnée est l'effet des manipulations des modules lorsqu'ils sont transportés de la surface à la caverne, puis mis en place sous forme de tonneaux. Les tests ultérieurs révèlent un nombre de pannes très faible, et l'objectif "zéro défaut", c'est-à-dire aucune panne, au démarrage du LHC semble possible. Rappelons également que la notion de panne est très "relative", car généralement la voie considérée fonctionne, mais pas de la façon optimale souhaitée.

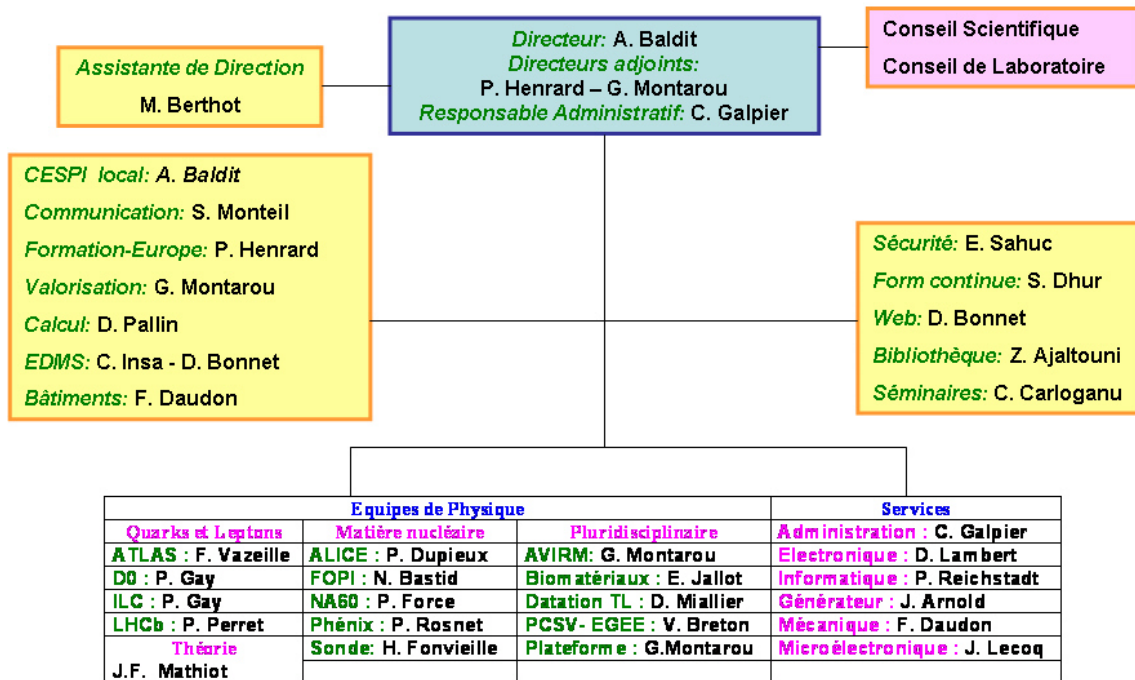
Dans mon étude, j'ai rentré "à la main" toutes les informations issues des bases de données et logbooks. C'est le bilan à la date de fin mai 2006.

Les tiroirs peuvent encore évoluer, et en particulier ceux des tonneaux étendus pas encore testés dans la caverne. Il est prévu d'automatiser complètement le remplissage de tous les tableaux à partir des bases de données, ce qui donnera une actualisation automatique des études statistiques.

Mon stage fut très intéressant sur tous les plans, j'ai découvert le monde de la recherche, un domaine de la physique très intéressant et surtout une expérience gigantesque qui pourrait expliquer beaucoup de choses sur l'univers et plus particulièrement sur la matière.

ANNEXES

LPC Clermont UMR 6533 – Organigramme fonctionnel



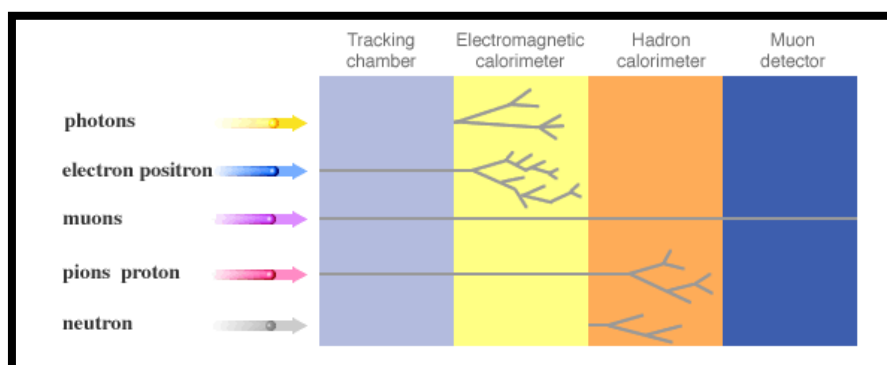
Annexe 1 : Organigramme fonctionnel du Laboratoire de Physique Corpusculaire

Constituants de la matière				Bosons de jauge			
	1 ^{ère} famille	2 ^{ème} famille	3 ^{ème} famille	Interaction forte	Interaction électro-magnétique	Interaction faible	
Quarks	Up (u) (0.03 GeV)	Charm (c) (1.3 GeV)	Top (t) (174 GeV)	Gluons (g)	Photon (γ)	Bosons W^+ (80.4 GeV)	Boson de Higgs (H^0)
	Down (d) (0.06 GeV)	Strange (s) (0.14 GeV)	Bottom (b) (4.3 GeV)			W^- (80.4 GeV) Z^0 (91.2 GeV)	
Leptons	Electron (e^-) (0.0005 GeV)	Muon (μ^-) (0.106 GeV)	Tau (τ^-) (1.7 GeV)				
	Neutrino (ν_e) électronique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_μ) muonique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_τ) tauique (≈ 0 GeV)				

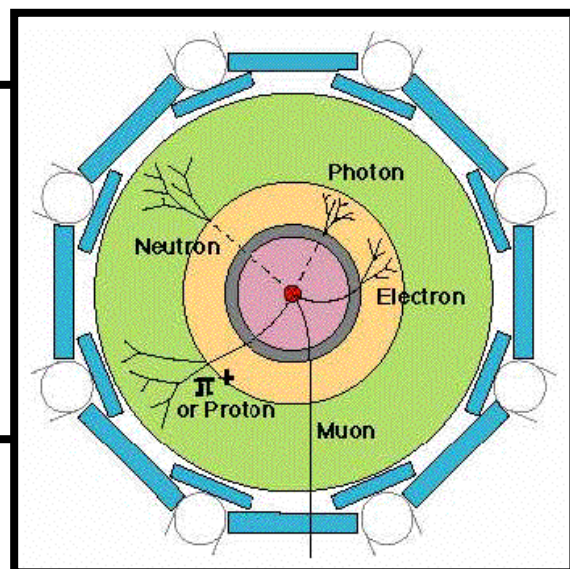
Annexe 2 : Tableau des particules du Modèle Standard

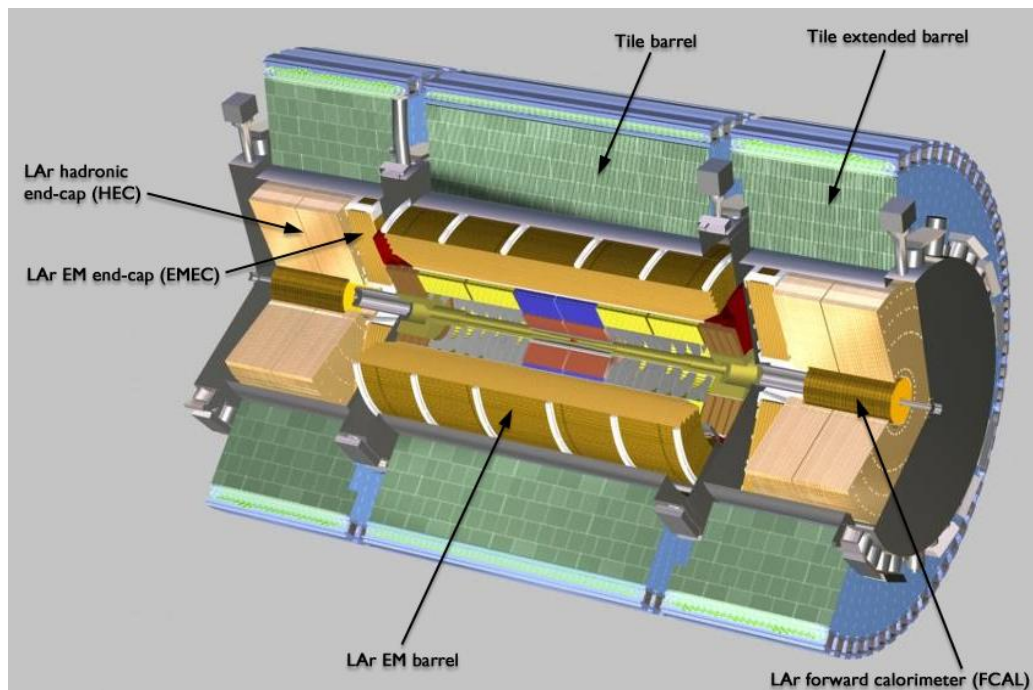
Constituants de la matière				Bosons de jauge			
	1 ^{ère} famille	2 ^{ème} famille	3 ^{ème} famille	Interaction forte	Interaction électro-magnétique	Interaction faible	
Quarks	Up (u)	Charm (c)	Top (t)	Gluons (g)	Photon (γ)	Bosons W ⁺ W ⁻ Z ⁰	Bosons de Higgs H ⁺ H ⁻ H, h, A
	Down (d)	Strange (s)	Bottom (b)				
Leptons	Electron (e ⁻)	Muon (μ ⁻)	Tau (τ ⁻)				
	Neutrino (ν _e) électronique	Neutrino (ν _μ) muonique	Neutrino (ν _τ) tauique				
Particules supersymétriques							
sQuarks	sUp (ũ)	sCharm (c̃)	sTop (t̃)	Gluinos (g̃)	Photino (γ̃)	Jauginos Winos (W̃ ⁺) (W̃ ⁻) Zino (Z̃ ⁰)	Higgsinos h̃ ⁺ h̃ ⁻ h̃ ₁ ⁰ , h̃ ₂ ⁰
	sDown (d̃)	sStrange (s̃)	sBottom (b̃)				
sLeptons	sElectron (ẽ ⁻)	sMuon (μ̃ ⁻)	sTau (τ̃ ⁻)				
	sNeutrino (ν̃ _e) électronique	sNeutrino (ν̃ _μ) muonique	sNeutrino (ν̃ _τ) tauique				

Annexe 3 : Tableau des particules du Modèle Standard Supersymétrique

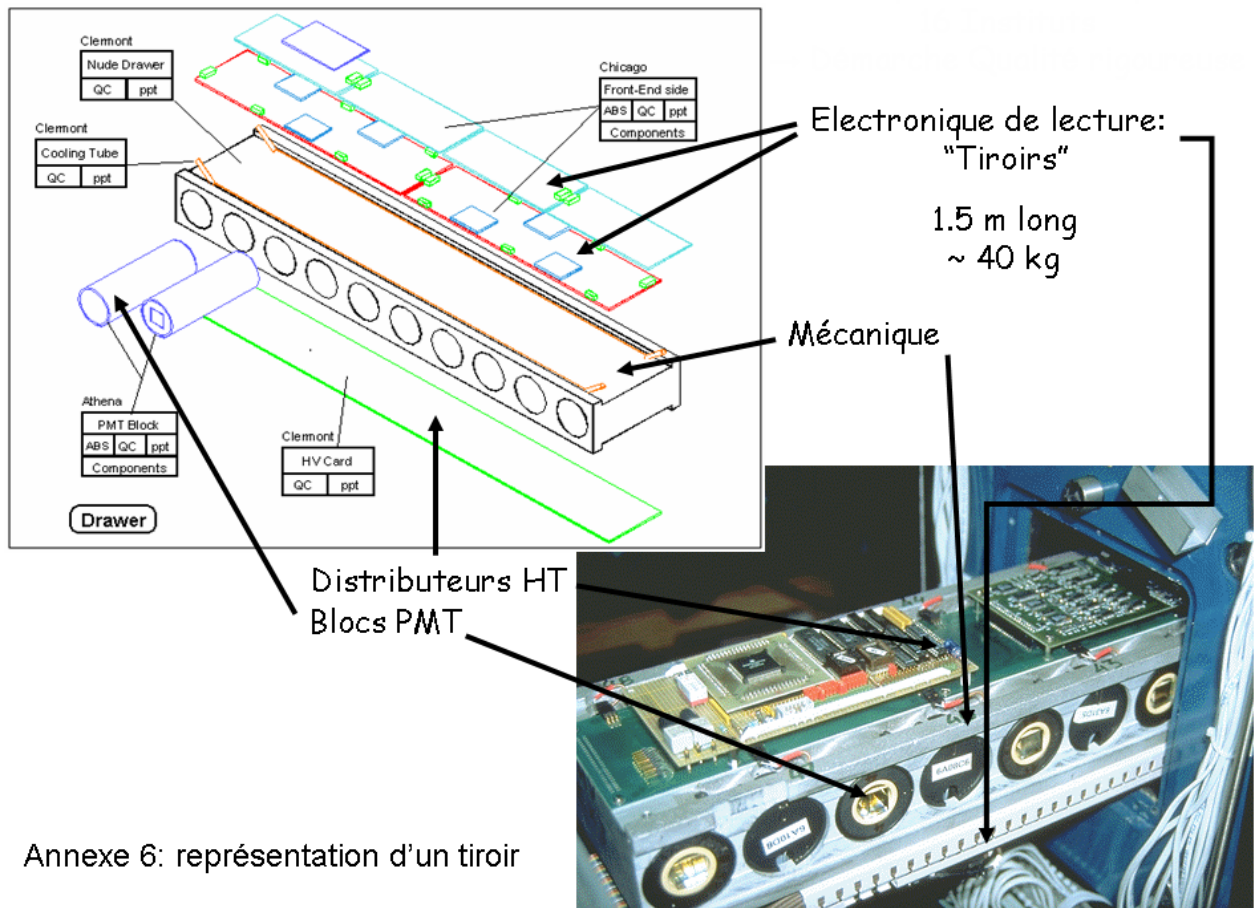


Annexe 4 : Schéma du trajet des particules dans ATLAS

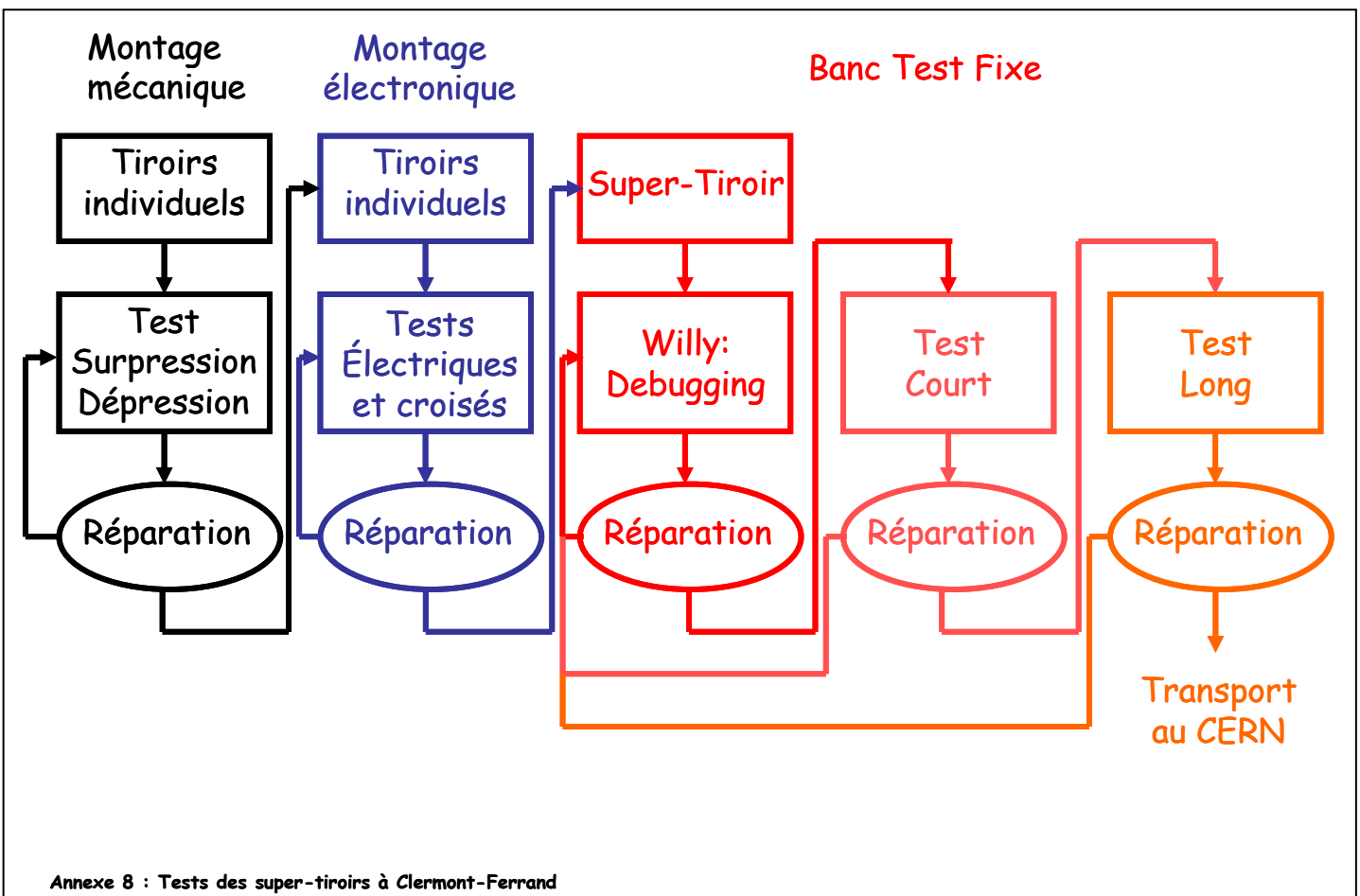
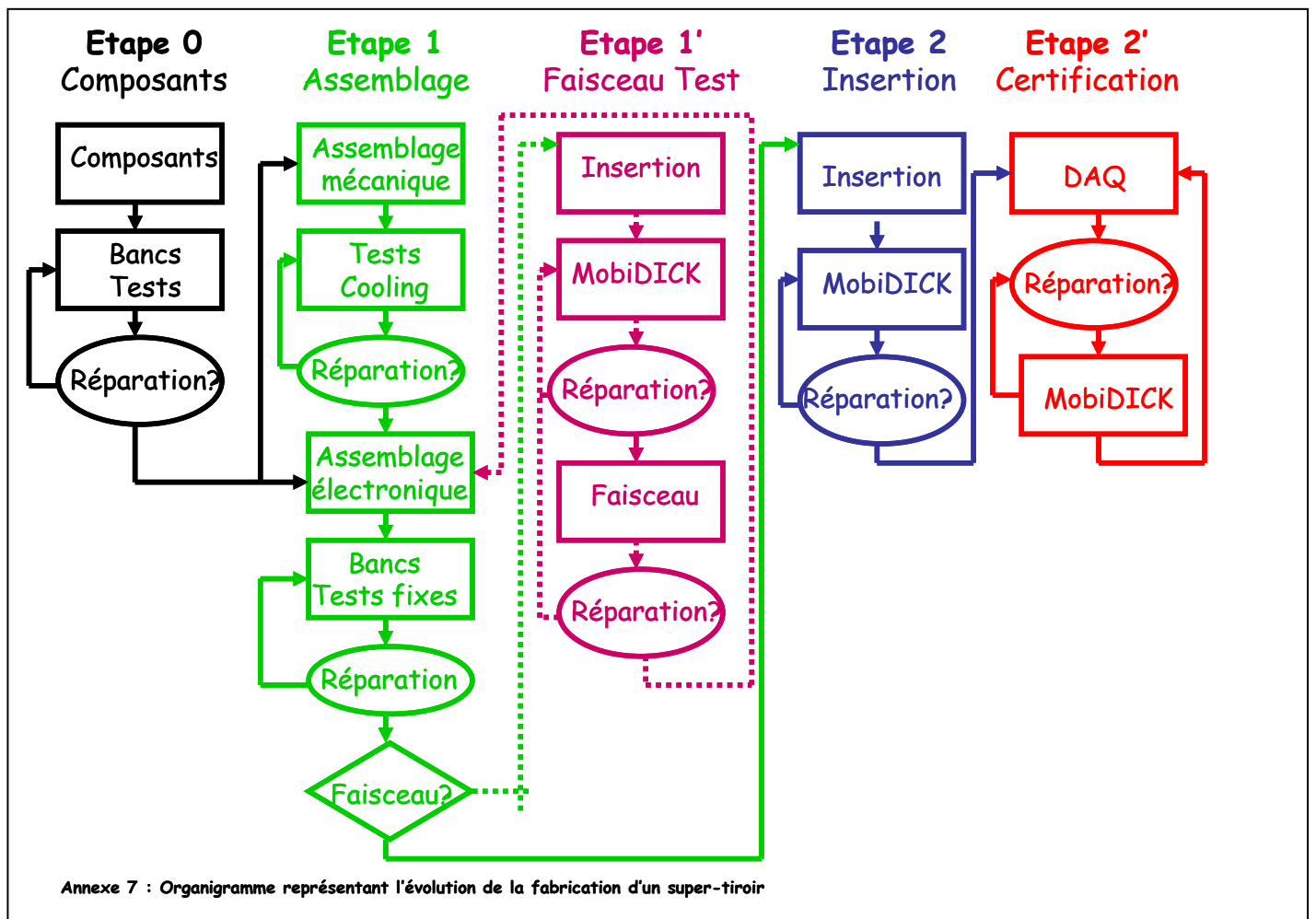




Annexe 5 : Vue du calorimètre hadronique et d'autres détecteurs



Annexe 6: représentation d'un tiroir



Annexe 9 : Tableau généraux des 4 partitions

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBA 01	0-535-411	3 in 1 #26	1	3 in 1 #26	1
		HV Opto interne (voie 12)	1		
		HV Opto externe (voie 21)	1		
		Sonde HV Bus externe	1		
		Adder #4	1		
LBA 02	0-292-298	3 in 1 #8, #10, #11	3		
		Interface	1		
LBA 03	2-334-327	Digitizer #6	1		
LBA 04	2-324-301	HV Opto interne (PM#3, PM#7)	2	Digitizer #3	1
		Digitizer #1, #8	2		
		Interface	1		
LBA 05	1-422-441	3 in 1 #25, 48	2		
		Câble Trigger	?		
		Long Flex Foil	1		
LBA 06	1-314-346				
LBA 07	2-068-060	3 in 1 #20	1		
LBA 08	2-045-056	Flex HV remplacé	1		
		Câble Trigger interne	2		
		Digitizer #3	1		
LBA 09	2-266-250	3 in 1 #45	1	Mezzanine	1
				Digitizer #7	1
				HV Micro externe	1
LBA 10	2-055-203	PMT #29(Divider pin centrale dessoude)	1	3 in 1 #37	1
		Long Flex Foil	1		
LBA 11	0-509-532	ADC Integrator	1		
		Digitizer #1	1		
LBA 12	2-319-245	3 in 1 #25, 46	2	Short Flex Foil	1
		Câble Delay #8, 35	2		
		Câble Trigger-Delay interne #26	1		
		Câble Trigger interne	1		
		Adder #5 (position 21)	1		
LBA 13	1-089-066	3 in 1 #3, 4, 19, 25	4		
		Digitizer #8	1		
		HV Opto externe (voies 19 et 23)	1		
LBA 14	0-512-246	3 in 1 #24	1	Digitizer #4	1
LBA 15	1-023-029	Mezzanine	1		
		Short Flex Foil (3/4)	1		
LBA 16	2-534-365			Short Flex Foil	1
LBA 17	2-412-489	3 in 1 #9, 21	2	PMT Block #35 (noisy for cesium with HV on)	1
		Câble Trigger interne	1		
		Digitizer #6	1	3 in 1 #35, 38, 39, 48	4

		HV Opto externe (bad regul PM#6)	1	Mezzanine	1
LBA 18	1-011-018	Long Flex Foil	1		
		Noise Killer #40	1		
		PMT Block #22 (pedestal augmente quand HV on)	1		
		HV Opto interne (recalibration voie 6)	1		
LBA 19	1-249-137	3 in 1 #43	1	3 in 1 #43	1
		HV Opto interne (bad regul PM#12)	1	Digitizer #4	1
LBA 20	0-236-147				

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBA 21	0-281-116	Câble Trigger interne	1		
LBA 22	2-263-054	3 in 1 #1, 4	2		
		Digitizer #8	2		
		Mezzanine	1		
		Mother Board section 4	1		
		Câble Delay #5	1		
LBA 23	0-155-152				
LBA 24	1-273-057				
LBA 25	1-260-141			3 in 1 #9	1
				Adder position #28	1
LBA 26	2-316-126				
LBA 27	0-304-294		1	HV Opto interne (un switch ne marche pas)	1
		Digitizer #1, 4	2		
		Câble Trigger externe	1		
		HV Opto externe (pas de régulation #12)	1		
LBA 28	0-467-350	3 in 1 #20	1		
		Adder position #4, 7	2		
		Câble Trigger interne et externe	2		
LBA 29	2-255-307	Câble Delay #4	1		
		Câble Trigger interne	2		
		Interface	1		
		HV Bus interne	1		
LBA 30	2-311-140				
LBA 31	2-113-132	Câble interne connecteur BT	1		
LBA 32	2-285-244				
LBA 33	0-217-185	Mezzanine	1		
		3 in 1 #23	1		
LBA 34	2-435-125	Interface (un canal ROD marche pas)	1	3 in 1 #21, 27	2
		HV Opto interne (instabilité voie physique 20)	1	Adder position #7	1
				HV Opto externe (voie 17 pas de régul)	1
				Interface	1
LBA 35	2-218-183	Câble Delay #9	1	HV Opto externe (4 voies)	1
				Digitizer #8	1
LBA	2-439-370	3 in 1 #23, 30	2		

36					
LBA 37	0-172-336				
LBA 38	2-490-197	Câble Delay #19	1		
		Câble Trigger externe (#16,17,18,19,26)	1		
LBA 39	0-348-389	3 in 1 #40	1		
		ADC Integrator	1		
		HV Opto interne (voie 19)	1		
LBA 40	2-513-539	Sondes température (interface et PMT)	2	HV Flex	1
				3 in 1 #45, 48	2
LBA 41	1-362-359	3 in 1 #6	1		
		Short Flex Foil (6/7)	1		
LBA 42	2-510-517	3 in 1 #17, 37, 40	3	Câble CANBus	1
		PMT Block #2 (no light)	1		
LBA 43	0-270-279	Digitizer #5	1		
		Short Flex Foil (2/3)	1		
		Câble Delay #1	1		
LBA 44	2-536-446	Mezzanine (LED sur la carte!!!)	1	HV Opto interne (PM#12)	1

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBA 45	2-492-496	3 in 1 #16	1	3 in 1 #12, 35, 46	3
				Digitizer #3, 3, 4, 6	4
				Mother Board section 3	1
LBA 46	1-251-542			Interface	1
LBA 47	1-283-077			HV Opto externe (voie 2, et un switch ne fonctionne plus)	2
				Short Flex Foil	1
				3 in 1 #47	1
LBA 48	1-464-524	3 in 1 #1	1	3 in 1 #6	1
				PMT Block #45 (noisy for cesium with HV on)	1
				Digitizer #8	1
LBA 49	1-234-353	Digitizer #8	1	3 in 1 #46, 47	2
		HV Opto externe (bad regul PM#28)	1	PMT Block #45, 46 (noisy for cesium with HV on)	2
				Digitizer #4	1
LBA 50	0-452-254			3 in 1 #28	1
				Digitizer #6	1
LBA 51	1-268-282	3 in 1 #43	1	3 in 1 #25	1
		Sonde température (interface)	1		
LBA 52	1-469-471	HV Bus interne (court-circuit)	1	3 in 1 #18	1
				HV Opto interne (24 voies)	1
				ADC Integrator (plus de com CANBus)	1
LBA 53	1-525-528	3 in 1 #47	1	Interface	1
LBA 54	2-448-367	3 in 1 #23, 29, 48	3		
		HV Opto interne (bad regul PM#9)	1		

		PMT Block #18 (no light)	1		
LBA 55	2-397-381	Interface	1		
		3 in 1 #46	1		
		Adder #3 (position PMT #10)	1		
LBA 56	2-438-529	3 in 1 #6	1	Short Flex Foil	1
				Digitizer #7	1
LBA 57	2-363-280			3 in 1 #35	1
LBA 58	2-418-426	HV Opto interne (voie 21)	1	Mezzanine	1
LBA 59	2-486-483	Digitizer #1	1		
		Câble Delay #13	1		
LBA 60	2-272-366	Long Flex Foil	1		
		HV Opto externe (PM#34)	1		
		3 in 1 #24	1		
LBA 61	0-455-347	3 in 1 #16	1		
		Câbles Trigger interne et externe	2		
		Digitizer #1, 2, 3, 4	4		
		Interface	2		
LBA 62	2-406-247	Long Flex Foil	1		
LBA 63	2-457-459	Adder #28	1		
		Câble Delay #30	1		
LBA 64	2-494-223				

Nombre de panne durant l'étape 1 :	138	Nombre de panne durant l'etape 2 :	64
------------------------------------	-----	------------------------------------	----

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBC 01	0-476-518	Long Flex Foil	1		
		HV Opto externe (PM#28)	1		
LBC 02	0-253-284			PMT Block #14	1
LBC 03	2-340-341	Digitizer #5, 8	2		
		3 in 1 #2	1		
		Short Flex Foil	1		
		Câble Trigger interne (#24)	1		
LBC 04	2-069-062	3 in 1 #7	1		
LBC 05	1-256-308	Digitizer #6, 7	2		
		3 in 1 #5, 39	2		
		Câble Delay #5	1		
LBC 06	1-449-436	3 in 1 #35, 38	2	HV Opto interne (mauvaise regulation sur le PM #17)	1
		Long Flex Foil	1		
LBC 07	2-320-315	Short Flex Foil (1/2)	1		
		Mother Board section 1	1		
		Long Flex Foil	1		
		PMT Block #3 (Problem connected to the PMT or the Divider)	1		
LBC 08	2-058-064	Short Flex Foil (2/3)	1		
		Medium Flex Foil	1		

		Long Flex Foil	1		
		Interface (avec les Flex Foils)	1		
LBC 09	2-461-258	Interface	1		
		Câble Delay #28	1		
LBC 10	2-326-330	3 in 1 #8	1		
		Câble Trigger externe	1		
LBC 11	0-526-527	PMT Block #1, 13 (Bad trigger cable on 3in1 card)	2	Digitizer #1	1
				Mezzanine	1
LBC 12	2-453-465	Digitizer #5	1	3 in 1 #7	1
		Câble Trigger externe	1		
		3 in 1 #14, 23	2		
		Long Flex Foil	1		
		guide de lumière (rayé)	1		
LBC 13	1-230-213	3 in 1 #7, 46	2		
		HV Opto interne (voie 12 pas de HV)	1		
		PMT Block #12 (No light seen on 3in1 card output)	1		
LBC 14	0-499-503	Interface	1		
		Sonde HV Bus interne	1		
LBC 15	1-013-012	Mezzanine	1		
		Mother Board section 4	1		
		HV Opto interne #24	1		
		Long Flex Foil	1		
LBC 16	2-451-354	Short Flex Foil (2/3)	1		
		Mother Board section 4	1		
LBC 17	2-248-493	3 in 1 #23, 36	2	Digitizer #4	1
				HV Opto interne (plus de regulation sur le PM #14)	1
LBC 18	1-034-030	Digitizer #2	1		
		Short Flex Foil (5/6)	1		
		HV Opto interne (recalibration #23)	1		
		3 in 1 #18	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBC 19	1-231-204	3 in 1 #25	1	3 in 1 #45, 45	2
		Interface	1	Digitizer #1, 8	2
		Câble CAN Bus	1		
LBC 20	0-206-151	3 in 1 #39, 39	2	3 in 1 #6	1
		HV Opto interne (PM#8)	1		
		HV Bus externe	1		
LBC 21	0-091-073	3 in 1 #36	1		
		HV Bus externe	1		
		Câble Delay #7	1		
		Interface	1		
		HV Bus interne	1		
LBC 22	2-519-500	Digitizer #3	1	Digitizer #5	1
				Mother Board section 3	1
LBC 23	0-165-164	3 in 1 #26	1		

LBC 24	1-072-048	3 in 1 #5	1		
		Câble Delay #19	1		
LBC 25	1-257-498	HV Opto interne (1 voie)	1	PMT Block #6 (Noisy when HV on ?)	1
LBC 26	2-472-264	Câble Trigger externe	1		
		Digitizer #4	1		
		Interface	2		
		Mother Board section 3	1		
LBC 27	0-044-130	Adder #6, 7 (position 28, 31)	2	3 in 1 #31	1
		3 in 1 #23	1		
LBC 28	0-297-303	Interface	1	ADC Integrator (plus de communication)	1
		Digitizer #2	1		
LBC 29	2-342-313	3 in 1 #29	1		
		Câble Delay #4	1		
LBC 30	2-299-296	3 in 1 #12	1		
		Digitizer #3	1		
		Interface	1		
LBC 31	2-083-110	Câble Delay #13	1	3 in 1 #39	1
		3 in 1 #47	1		
		PMT Block #27 (problem with divider ?)	1		
LBC 32	2-267-302	3 in 1 #35	1		
		ADC Integrator	1		
LBC 33	0-097-084	Interface	1		
		3 in 1 #28, 48	2		
LBC 34	2-482-477	Digitizer #4	1	3 in 1 #26, 27	2
		Interface	1		
		Short Flex Foil (3/4)	1		
LBC 35	2-288-087	3 in 1 #37	1		
		HV Opto interne (bad RMS PM#18)	1		
		HV Opto externe (bad RMS PM#25)	1		
LBC 36	2-402-388			3 in 1 #8	1
LBC 37	0-379-442	3 in 1 #12, 16, 19	3		
		Digitizer #7	1		
LBC 38	2-107-550	Digitizer #4	1		
LBC 39	0-450-430	3 in 1 #43, 45, 48	3	3 in 1 #7	2
		Câble Delay #1	1	Digitizer #7	1
LBC 40	2-516-504				
LBC 41	1-358-329	3 in 1 #19	1		
		HV Opto interne (bad regul PM#24)	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBC 42	2-505-511	Digitizer #7	1		
		Mezzanine	2		
		3 in 1 #37	1		
		Interface	1		
LBC 43	0-131-271				

LBC 44	2-447-531	Interface	1	PMT Block #35 (noisy for cesium with HV on)	1
		3 in 1 #36	1		
LBC 45	2-239-168			3 in 1 #26	1
		Digitizer #5 (1 connecteur cassé)	1		
		Mother Board section 3	1	HV Opto externe (voie 0=PM#25, et une autre voie)	2
		3 in 1 #22, 24	2		
LBC 46	1-261-479	Adder # (position 4)	1		
		Mezzanine	1		
		3 in 1 #20	1		
LBC 47	1-520-538	3 in 1 #25	1	3 in 1 #47	1
		Câble Trigger interne	1	Mother Board section 1 et 2	2
		Mezzanine	1		
		Digitizer #6	1		
LBC 48	1-287-407	Cooling (connecteur côté readout changé)	1	Digitizer #6	1
		3 in 1 #2, 37	2		
		HV Bus externe	1		
		Sonde température (PM#22)	1		
LBC 49	1-421-415	Cooling (connecteur Patch Panel)	1	3 in 1 #27, 43, 43, 45, 46, 48	6
				Digitizer #1, 1, 5, 6	4
LBC 50	0-092-473	Sonde température (dans PMT)	1	HV Opto externe (bad HV on PM#34, 40 et 48)	2
		Interface	1		
LBC 51	1-269-074	3 in 1 #26, 45	2	Interface	1
		Digitizer #1	1		
		HV Opto externe (RMS PM#39, et bad regul PM#39 et 48)	2		
		PMT Block #13 (Mechanical problem)	1		
LBC 52	1-523-522	Adder #28	1	HV Opto externe (short circuit et bad regul)	3
				ADC Integrator (pas de com CANBus)	1
LBC 53	1-537-278	3 in 1 #31, 34	2	3 in 1 #1, 27	2
		Adder position #15	1	PMT Block #27 (noisy for cesium with HV on)	1
				Interface	1
LBC 54	2-541-373	Digitizer #8	1		
		3 in 1 #34	1		
LBC 55	2-502-432			Digitizer #5	1
LBC 56	2-424-322	Digitizer #2	1		
LBC 57	2-485-274	Digitizer #2	1	Digitizer #5	1
LBC 58	2-050-133	3 in 1 #5	1	HV Opto externe (voie 16)	1
				Mezzanine	1

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
LBC 59	2-434-423	3 in 1 #7	1		
		Câble Trigger interne	1		
		Câble Trigger externe	1		
		Interface	1		
LBC 60	2-428-408			3 in 1 #48	1
LBC 61	0-462-466			HV Opto interne (Pb avec un switch)	1
LBC 62	2-443-419	3 in 1 #45	1		
		Sonde HV Micro	1		
LBC 63	2-357-349	3 in 1 #23	1		
LBC 64	2-468-484			HV Micro (pb de com CANbus)	1

Nombre de panne durant l'étape 1 :	159	Nombre de panne durant l'etape 2 :	60
------------------------------------	-----	------------------------------------	----

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBA 01	5-049-361	Mother Board section 1	1		
		HV Opto externe (pb with switch)	1		
EBA 02	3-212-232	Câble Delay #44	1		
		3 in 1 #2, 5	2		
EBA 03	5-160-157	3 in 1 #21, 22	2		
		Mother Board section 1	1		
EBA 04	4-454-515	Digitizer #5	1	3 in 1 #34, 34	2
		Mother Board section 4	1		
EBA 05	3-169-174	Connecteur BT digi #2/3 (domino)	1		
EBA 06	4-521-375	3 in 1 #10	1		
		Câble Trigger interne	1		
		Digitizer #8	1		
EBA 07	4-413-414	Short Flex Foil	1	3 in 1 #29	1
EBA 08	4-188-159	3 in 1 #29	1	3 in 1 #4	1
		HV Opto interne (voie 9)	1		
		sonde tiroir externe	1		
		Interface	1		
EBA 09	5-145-071	Long Flex Foil	1	HV Opto externe (switch des PMs pairs ne marche pas)	1
		HV Opto interne (voie 2 et 13)	1		
EBA 10	3-098-112				
EBA 11	4-401-364	Digitizer #6, 8	2	3 in 1 #16	1
		Noise killer #30	1		
		3 in 1 #30	1		
EBA 12	4-480-344				
EBA 13	3-410-470				
EBA 14	5-139-085	3 in 1 #23, 23, 29	3	3 in 1 #4	1
				HV Opto interne (recalibration voie 13)	1

		Medium FlexFoil	1	Digitizer #8	1
				Adder position #34	1
EBA 15	6-458-005	3 in 1 #30, 34	2		
		Digitizer #6	1		
		HV Opto interne et externe (3 voies)	2		
EBA 16	4-259-495	Câble Delay #4	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBA 17	4-374-220	3 in 1 #29	1	HV Opto interne (transistor arraché pendant le transport)	1
		Digitizer #7	1		
		HV Opto interne (1 switch marche pas)	1		
EBA 18	5-444-475	3 in 1 #3, 8	2		
EBA 19	5-108-053	Medium FlexFoil	1	HV Opto externe (switch voie paires)	1
		Short Flex Foil	1		
		3 in 1 #9	1		
EBA 20	3-178-356	Digitizer #2	1		
EBA 21	4-024-017	3 in 1 #17, 23	2		
		Sonde HV Bus externe	1		
		HV Opto externe (voie 22)	1		
		HV Opto interne (voie 15)	1		
		sonde HV opto externe	1		
EBA 22	3-036-026	Cooling (le T du patch panel)	1		
		3 in 1 #8, 11	2		
		HV Opto interne (voie 22)	1		
EBA 23	4-032-001	Cooling (connecteurs patch panel)	1		
		ADC Integrator (Pb com CANBus)	1		
		3 in 1 #12	1		
EBA 24	3-189-549			Long or Medium Flex Foil	1
				Digitizer #2	1
EBA 25	3-227-205				
EBA 26	4-385-391				
EBA 27	3-403-143	3 in 1 #37	1		
		HV Opto externe (voie 9)	1		
EBA 28	5-376-202	Adder #2 position #7	1		
		HV Bus interne	1		
		PMT Block #38 (The PMT does not see the light)	1		
EBA 29	3-382-463	3 in 1 #6	1	Digitizer #2	1
		Mezzanine	1		
EBA 30	4-386-175	3 in 1 #7	1		
		HV Opto interne (voie 7)	1		
EBA 31	3-224-312	Câble porlongateur #44	1		
		3 in 1 #23, 42	2		
EBA 32	4-051-122	Câble gris MB inter-tiroir	1	3 in 1 #15, 16	2
		PMT Block #42 (divider)	1		

EBA 33	5-383-106	3 in 1 #41, 42	2	Adder position #7	1
EBA 34	4-460-387	Mother Board section 3	1		
		3 in 1 #9	1		
		Câble Delay #8	1		
		PMT Block #42 (Loss efficiency after about 2h, then unstable)	1		
EBA 35	5-144-195	Cooling (connecteur T a gauche du patch panel)	1		
		3 in 1 #2	1		
EBA 36	5-369-491	3 in 1 #4	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBA 37	5-416-431	Digitizer #5	2	Adder position #7	1
		3 in 1 #10	1		
		PMT Block #44 (No response to pulsed LED (PMT dead ?))	1		
		HV Micro	1		
		HV Opto interne (bad regul on 3 channels)	1		
		HV Opto externe (bad regul on 3 channels)	1		
		HV Bus interne	1		
		HV Bus externe	1		
EBA 38	5-478-396	HV opto interne (voies 3 et 11)	1	HV Opto interne (voie 11)	1
EBA 39	5-149-158	Long Flex Foil	1	3 in 1 #3, 24	2
		HV Opto interne (voie #7)	1		
EBA 40	5-339-352	Cooling (connecteur patch panel)	1		
		Digitizer #5	1		
		HV Opto externe (voie 1)	1		
EBA 41	5-543-241	Cable prolongateur #44	1	HV Opto externe (1 switch marche pas)	1
		3 in 1 #9	1		
EBA 42	5-214-215	interface	1		
		HV Opto externe (voie 17)	1		
EBA 43	5-146-119	3 in 1 #4, 10	2	Digitizer #3	1
EBA 44	5-507-305				
EBA 45	3-355-052	3 in 1 #17	1		
		HV Opto interne (voie 3)	1		
EBA 46	5-501-398	3 in 1 #14, 34	2		
EBA 47	4-086-409	3 in 1 #44	1		
		Short Flex Foil (tous les internes)	3		
EBA 48	4-275-317	3 in 1 # 15	1	Sonde température (readout side)	1
EBA 49	5-163-378	Digitizer #3	1		

EBA 50	5-109-497	HV Bus externe	1	3 in 1 #7	1
EBA 51	3-400-390	ADC Integrator	1		
		Mezzanine	1		
EBA 52	3-377-380	Câble Delay #8	1		
		Digitizer #5	1		
		3 in 1 #34	1		
		PMT Block #34 (No response to light)	1		
EBA 53	5-488-474	Cooling (connecteurs patch panel)	1		
		3 in 1 #24	1		
		Mezzanine	1		
		HV Opto interne (voie 17)	1		
		PMT Block #9 (Pedestal variation of charge integrator circuit)	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION + CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBA 54	4-265-166	Cooling (connecteurs patch panel)	1		
		3 in 1 #1	1		
		Digitizer #3, 6	2		
EBA 55	5-262-533	3 in 1 #33	1		
		sonde tiroir externe	1		
EBA 56	5-154-162	3 in 1 #2	1		
		Digitizer #6	1		
		interface	1		
EBA 57	5-306-481	Cooling (connecteurs patch panel)	1		
		Dummy digitizer	1		
		Cable prolongateur #44	1		
EBA 58	5-506-063	Long Flex Foil	1		
		HV Opto interne (voie 5)	1		
		HV Opto externe (voie 17)	1		
EBA 59	5-047-384	3 in 1 #34	1		
EBA 60	5-394-150			3 in 1 #24	1
EBA 61	5-290-360				
EBA 62	5-530-487	Câble Trigger interne	1		
		Digitizer #2	1		
EBA 63	4-184-368	PMT block #6 (Pedestal variation)	1		
EBA 64	3-070-194	Digitizer #6	1		

Nombre de panne durant l'étape 1 :	143	Nombre de panne durant l'étape 2 :	27
------------------------------------	-----	------------------------------------	----

SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
	PANNES	NBRE	PANNES	NBRE

EBC 01	3-445-404	Digitizer #2	1	Digitizer #6	1
		Câble Trigger interne	1		
EBC 02	3-201-196	3 in 1 #6	1		
EBC 03	3-079-135				
EBC 04	4-211-208	3 in 1 #7, 24, 37	3		
		HV Opto interne (voie 22)	1		
EBC 05	4-148-252	Câble Trigger interne	1		
		3 in 1 #15	1		
		Câble Delay #43	1		
		Digitizer #2	1		
		PMT Block #5 (Loss of gain)	1		
EBC 06	4-233-210	Digitizer #7	1		
		HV Opto interne (voie 5)	1		
		HV Opto externe (voie 9)	1		
		HV Bus interne	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBC 07	4-076-075	ADC Integrator	1		
		Long Flex Foil	1		
		Medium Flex Foil	2		
		3 in 1 #21	1		
		Câble Delay #30	1		
		Interface	1		
		Digitizer #8	1		
		HV Opto externe (voie 44)	1		
EBC 08	4-209-222	HV Bus interne	1	ADC Integrator	1
		3 in 1 #5, 14, 43	3	3 in 1 #11	1
EBC 09	3-104-081	3 in 1 #15	1		
		HV Bus interne	1		
		HV Opto interne (pas HT sur PM pairs)	1		
EBC 10	4-093-177				
EBC 11	4-059-095	Cable BT digi tiroir externe	1		
		Mezzanine	1		
EBC 12	4-123-124	Câble Delay #5, 12, 34	3		
		Cable prolongateur #29	1		
EBC 13	5-207-200	HV Opto interne (HV PM#34 instable)	1		
		3 in #21, 23	2		
		Adder #5 (position 21)	1		
		Câble Trigger interne	1		
		Noise Killer #33	1		
EBC 14	5-043-105				
EBC	5-080-114	3 in 1 #33	1		

15					
EBC 16	5-120-321	3 in 1 #12	1	Mezzanine	1
		Digitizer #6	1		
EBC 17	4-228-219				
EBC 18	6-456-127	3 in 1 #20, 21	2		
		HV Opto externe (recalibrer 5 voies)	1		
EBC 19	5-289-540	Cable prolongateur #44	1		
		Câble Delay #5, 23	2		
		Digitizer #5	1		
		sonde temperature cote readout	1		
		PMT Block #43 (Noisy)	1		
EBC 20	4-101-096	Mother Board section 3	1		
EBC 21	3-022-025	Short Flex Foil	2		
		Long Flex Foil	1		
		Interface	1		
		PMT Block #10 (No light seen by PMT with pulsed LED.)	1		
EBC 22	4-046-027	Cooling (connecteur patch panel)	1		
		Medium Flex Foil	1		
		Long Flex Foil	1		
		3 in 1 #6	1		
		HV Opto externe (PM#17 repare + PM#37 recalibre)	1		
EBC 23	3-033-037	ADC Integrator	1		
		Short Flex Foil	1		
		3 in 1 #12	1		
		HV Opto interne (2 voies réparées)	1		
EBC 24	3-392-067	Interface	1		

	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBC 25	4-345-277			Interface	1
				Digitizer #5	1
EBC 26	4-136-065	Long Flex Foil	1	HV Micro	1
				HV Opto interne (canaux #11-14 et #21-23)	1
EBC 27	3-351-161			3 in 1 #11	1
EBC 28	3-393-433	Medium Flex Foil	1		
		Short Flex Foil	1		
EBC 29	3-099-041	HV Opto externe (PM #33 et 35)	1		
EBC 30	3-138-405	Câble Trigger interne	1		
		Câble Delay #43	1		
EBC 31	3-343-323	Mezzanine	1		
		3 in 1 #29	1		
		Short Flex Foil	1		
		Medium Flex Foil	1		
		Digitizer #3, 5	2		

EBC 32	3-216-221	Câble Delay #15	1	3 in 1 #4	1
EBC 33	3-440-417	Medium Flex Foil	1		
EBC 34	5-237-180	HV Bus interne	1		
EBC 35	5-173-171			HV Opto interne (court-circuit, 24 voies)	1
				HV Opto externe (PM#13)	1
EBC 36	5-229-176	3 in 1 #8	1		
EBC 37	5-429-156	Sonde température interface	1		
		Digitizer #8	1		
EBC 38	5-153-372			3 in 1 #23	1
EBC 39	5-395-179			3 in 1 #30	1
EBC 40	5-142-238	Mother Board section 1	1	Long Flex Foil	1
		PMT Block #14 (Bad divider ?)	1		
EBC 41	5-242-167	3 in 1 #18	1		
EBC 42	5-187-235			Long Flex Foil	1
				ADC Integrator (pas de com CANBus)	1
EBC 43	4-291-295	PMT Block #21 (Level measured by ADC-I increases by 40 counts when switching the HV on)	1	Medium Flex Foil	1
				Interface	2
EBC 44	3-193-191				
EBC 45	5-181-243	Guide de lumière	1		
		Digitizer #8	1		
		3 in 1 #13, 29	2		
EBC 46	3-508-514				
EBC 47	4-199-198	3 in 1 #44	1		
EBC 48	5-115-088	Câble Delay #42	1		
	SUPER-DRAWER	ETAPE 1 : ASSEMBLAGE		ETAPE 2 : INSERTION ET CERTIFICATION	
		PANNES	NBRE	PANNES	NBRE
EBC 49	4-134-333	Connecteur HT cooling	1	3 in 1 #10	1
		Câble Delay #16	1		
EBC 50	5-310-042	3 in 1 #10, 30	2		
		Adder #8 (position 34)	1		
		Medium Flex Foil	1		
EBC 51	4-309-276	3 in 1 #17	1		
EBC 52	3-240-186	3 in 1 #17, 42	2		
EBC 53	4-192-190	Câble Delay #41	1	3 in 1 #38	1
EBC 54	4-182-338	3 in 1 #38	1		
		Digitizer #5	1		

EBC 55	5-332-331	3 in 1 #4	1		
EBC 56	5-318-335				
EBC 57	5-328-286	3 in 1 #44	1	Mezzanine	1
EBC 58	5-100-040	HV Opto externe (1 voie)	1		
EBC 59	5-128-090	Câble de programmation interface	1		
		Digitizer #6	1		
		Adder #4, 7, 10, 15, 21	5		
EBC 60	5-118-117				
EBC 61	5-082-078	Digitizer #5	1		
EBC 62	5-427-399	Cooling (connecteur patch panel)	1		
		3 in 1 #2, 3	2		
		Digitizer #5	1		
EBC 63	4-325-337	3 in 1 #12, 12	2		
		Câble Trigger externe (connecteur)	1		
		Digitizer #3	1		
EBC 64	5-371-437	Cable prolongateur #44	1	3 in 1 #18	1
		3 in 1 #5, 29, 41	3		
		Short Flex Foil	1		
		Digitizer #8	1		
		PMT Block #5 (PMT dead ?)	1		

Nombre de panne durant l'étape 1 :	138	Nombre de panne durant l'étape 2 :	24
------------------------------------	-----	------------------------------------	----

ANNEXE 10 : MOBIDICK

MobiDICK (Mobile Drawer Integrity cheCKing system) est un banc test portable, qui permet de tester les super-tiroirs. Il y a deux versions de MobiDICK, la première est un peu moins complète et va être prochainement mise à jour comme la deuxième. Les deux permettent de réaliser tous les tests afin de certification d'un super-tiroir.

MobiDICK est une boîte en aluminium, à l'intérieur de laquelle se trouve un certain nombre de cartes électroniques et d'interfaces (avec le CANbus, avec un PC, ...). Il dispose d'un ordinateur portable qui permet de diriger les tests, de modifier les paramètres de sélection des données qualifiant un bon fonctionnement, d'enregistrer les résultats, ... MobiDICK comporte 11 séries de tests permettant de tester l'intégralité du fonctionnement d'un super-tiroir, vérifiant toutes les cartes, les hautes et basses tensions, les PMT ...

Le premier test s'appelle "**CommMB**". Il s'agit de vérifier qu'il y a une bonne communication avec le côté Readout. Les premiers tests sont effectués avec uniquement les basses tensions allumées, la haute tension étant appliquée plus tard. Il est possible de commander les cartes 3 en 1 avec le CANbus ou avec le TTC, mais le retour se fait toujours via le CANbus. Sont donc testés, dans l'ordre, la communication CANbus-CANbus, puis TTC-CANbus. La communication passe par l'ADC Intégrateur. Grâce au numéro de série de l'ADC Intégrateur, le numéro du super-tiroir est reconnu et comparé effectivement au numéro attendu.

Le deuxième test est le test "**Adder**", qui permet de vérifier le bon fonctionnement de toutes les cartes de ce type. Pour cela, il y a une première mesure à vide des 32 voies, ce qui correspond au Baseline (ou piédestal). Puis sur la carte 3 en 1 numéro 1 de l'Adder 1 est injectée une charge connue afin de simuler un pulse. L'acquisition est refaite, et on lui soustrait la Baseline. Normalement, toutes les voies sauf la 1 doivent être proches de zéro. Puis le test est répété en injectant sur les voies 1 et 2 la même charge. La nouvelle Baseline est le résultat précédent (où toutes les voies sont à zéro sauf la 1) puisque ces 2 voies appartiennent au même Adder. Et cela ainsi de suite jusqu'à la dernière carte 3 en 1. Ce test se réalise avec le TTC. Ces tests sont faits simultanément pour les sorties Hadron et Muon, le trigger Muon n'impliquant pas la fonction Somme. Les niveaux de trigger sont comparés à des niveaux attendus.

Le troisième test est celui du Digitiseur appelé "**Digshape**". Il consiste à injecter des charges sur les cartes 3 en 1 et à récupérer les données numérisées par les Digitiseur. Deux tests sont tout d'abord effectués, le premier avec une charge de 10 pC pour vérifier le haut gain, puis le second avec une charge de 820 pC pour le bas gain. La forme des signaux est comparée à des formes attendues.

Le quatrième test s'appelle "**DigNoise**". Il permet de mesurer le bruit. Il y a deux modes, le mode digit où il choisit le haut gain ou le bas gain, et le mode calibration où les deux gains sont choisis. Le bruit du bas gain correspond au bruit du Digitiseur, et le bruit du haut gain moins celui du bas gain correspond au bruit de la carte 3 en 1. Les niveaux de bruit sont comparés à des niveaux attendus. Ce test est effectué à une fréquence élevée, ce qui permet de vérifier qu'aucun bit n'est perdu dans la propagation des informations vers l'Interface.

Le cinquième test correspond à la carte ADC Intégrateur, il s'appelle "**Integ**". Il s'agit du test le plus long, car il va regarder les 6 gains pour les 48 voies. Un pulse est simulé avec un DAC, et la linéarité des 6 gains est vérifiée. Le CANbus est utilisé mais le TTC doit être branché pour le signal d'horloge. La linéarité est comparée à ce qui est attendu.

Le sixième test fait intervenir la partie haute tension, il s'appelle "**CommHV**", dans lequel uniquement les basses tensions alimentent les cartes HV. Il permet de vérifier la communication avec l'électronique de distribution haute tension, donc les cartes micro. La communication se fait par le CANbus, et les données de la carte micro (températures, basses tensions, ...) sont vérifiées, ainsi que les numéros de série des cartes Opto et Micro. Là encore, les résultats sont comparés aux valeurs attendues.

Le septième test est le test "**DigNoiseHV**" qui reprend le quatrième test DigNoise, mais cette fois ci avec les basses tensions des cartes HV allumées. Les résultats mesurés sont comparés aux valeurs attendues.

Le huitième test est le test "**Opto**", qui vérifie le fonctionnement de l'électronique de distribution haute tension lorsque celle-ci est allumée, donc le fonctionnement des cartes Opto. Tout d'abord le fonctionnement des quatre switches est vérifié. Puis des hautes tensions de 700 V et 600 V sont appliquées sur chaque voie. Pour les voies équipées d'un PMT, la différence entre les valeurs lues doit être significative (supérieure à 20 V, par exemple), sinon il s'agit d'un trou (voie non équipée). Pour les voies équipées, les valeurs de 700 et 600 V doivent être mesurées selon une certaine précision attendue.

Le neuvième test permet de vérifier le fonctionnement des cartes Opto à la tension nominale de chaque voie, il s'appelle "**NominalHV**". La tension nominale de chaque PMT a été déterminée sur les bancs tests des PMT et correspond à un gain de 100 000. La base de données de MobiDICK contenant toutes ces valeurs, elles sont appliquées sur les PMT concernées et les résultats mesurés sont comparés aux valeurs attendues.

Le dixième test est le test "**IntegHV**", durant lequel à la fois les basses tensions et les hautes tensions nominales des cartes HV sont allumées. C'est un test de bruit qui implique l'ADC Intégrateur. Les bruits mesurés sont comparés à des valeurs attendues.

Le dernier test s'appelle "**DigShapeLED**". Il permet de vérifier la réponse du super-tiroir à un pulse de lumière, similaire à celui produit par une particule dans le calorimètre hadronique. C'est le seul test durant lequel le PMT est effectivement testé. Puis les données fournies par les Digitiseurs sont lues et analysées.

Il faut noter que certaines cartes interviennent dans plusieurs tests. Les diagnostics individuels des tests puis leurs comparaisons permettent de déceler les composants qui ont un fonctionnement non satisfaisant.

Pour chaque série de tests, MobiDICK indique quels sont les éléments défectueux.

Lors de mon stage réalisé au Laboratoire de Physique Corpusculaire au sein de l'équipe ATLAS, j'ai découvert le LHC ainsi que le détecteur ATLAS. Au LPC, l'équipe travaille plus particulièrement sur le calorimètre hadronique à tuiles scintillantes, un sous-détecteur d'ATLAS. Moi, je me suis plus intéressé au super-tiroir, un composant essentiel du calorimètre, qui contient une électronique de pointe, et qui malheureusement tombe en pannes. J'ai donc réalisé une étude statistique sur les pannes des super-tiroirs.

Mots-clefs : LHC, ATLAS, calorimètre, super-tiroirs, pannes.

At the time of my training course carried out at the Laboratory of Corpuscular Physics within the ATLAS team, I discovered the LHC as well as the detector ATLAS. With the LPC, the work team more particularly on the hadron calorimeter with scintillating tiles, an under-detector of ATLAS. Me, I was interested more in the super-drawer, an essential component of the calorimeter, which contains advanced electronics, and which unfortunately falls in breakdowns. I thus made a statistical study on the breakdowns of the super-drawers.

Keywords: LHC, ATLAS, calorimeter, super-drawers, breakdowns.